



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**KONSTRUKCE JEDNOÚČELOVÉHO STROJE PRO
AUTOMATICKÉ TESTOVÁNÍ PNEUMATICKÉHO
ŠROUBENÍ**

CONSTRUCTION OF A SINGLE-PURPOSE MACHINE FOR AUTOMATIC TESTING OF PNEUMATIC
FITTINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Tejkl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Michal Tejkl**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Zdeněk Tůma, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Konstrukce jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Testovací zařízení pneumatických komponent je nedílnou součástí výrobního procesu. Jejich nesprávná funkce může ovlivnit celkový chod výrobního pracoviště.

Cíle diplomové práce:

Rešerše a zhodnocení současného stavu.
Systémový rozbor řešené problematiky.
Konstrukční návrh.
Ekonomické zhodnocení řešení.
Závěr a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří. Konstrukce CNC obráběcích strojů. Vyd. 2., přeprac. a rozš. Praha: MM Publishing, 2010. MM speciál. ISBN 978-80-254-7980-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je konstrukční návrh jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení. Na pneumatické šroubení používané v brzdových systémech se kladou vysoké technické požadavky a 100% kontrolu těsnosti ve výrobě. V takovém případě ruční testování není efektivní a cílem je daný proces automatizovat. V teoretické části se uvádějí pneumatické mechanismy, rozbor testovaného pneumatického šroubení s technickými parametry, možnosti testování těsnosti, použití sensorů a otočných stolů. V praktické části byl proveden systémový rozbor řešené problematiky, podle kterého se postupovalo při celkovém návrhu. Následně je zpracován detailní konstrukční návrh stroje. Závěr práce obsahuje zhodnocení celého projektu.

ABSTRACT

The subject of this diploma thesis is the design of a single-purpose machine for automatic testing of pneumatic fittings. Pneumatic fittings used in brake systems are subject to high technical requirements and 100% tightness control in production. In this case, manual testing is not effective and the goal is to automate the process. The theoretical part presents pneumatic mechanisms, analysis of the tested pneumatic fitting with technical parameters, the possibility of tightness testing, use of sensors, and rotary tables. In the practical part, a systematic analysis of the problem was performed, according to which the overall design proceeded. Subsequently, the design of the complete machine containing individual nodes is processed, supplemented by the necessary calculations. The conclusion of the thesis contains an evaluation of the whole project.

KLÍČOVÁ SLOVA

Testování pneumatického šroubení, testovací zařízení, jednoúčelový stroj, automatizovaný proces, automatická testovací buňka

KEYWORDS

Pneumatic fittings testing, testing equipment, single-purpose machine, automated process, automatic test cell

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TEJKL, Michal. *Konstrukce jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení [online]*. Brno, 2021 [cit. 2021-05-20].

Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132580>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Zdeněk Tůma.

PODĚKOVÁNÍ

Touto formou bych rád poděkoval panu Ing. Zdeňkovi Tůmovi, Ph.D. za vedení a cenné připomínky při vypracování diplomové práce. Zároveň bych chtěl poděkovat také své rodině za podporu, kterou mi po celou dobu mého studia na VUT FSI v Brně poskytovala.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Tůmy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20.5.2021

.....

Bc. Tejkl Michal

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE.....	17
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	19
3.1	Pneumatika v moderní automatizaci	19
3.1.1	Struktura pneumatického mechanismu	19
3.2	Pneumatické nástrčné šroubení	20
3.2.1	Šroubení pro běžné použití	20
3.2.2	Šroubení používané v brzdových systémech	20
3.3	Testování těsnosti	22
3.3.1	Měření těsnosti poklesem tlaku	22
3.3.2	Měření těsnosti průtokem vzduchu	22
3.3.3	Měření těsnosti pomocí detekce vodíku	23
3.4	Přítomnost senzorů	24
3.4.1	Optoelektronické snímače	24
3.4.2	Průmyslové kamery	25
3.4.3	Indukční sensory	26
3.5	Polohovací stoly	26
3.5.1	WEISS	27
3.5.2	FESTO	27
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	29
4.1	Problémová situace	29
4.2	Formulace problému	29
4.3	Formulace cílů a řešení	29
4.4	Popis řešené soustavy	29
4.5	Realizovatelnost základního konceptu stroje	30
4.5.1	Varianta s karuselem	30
4.5.2	Varianta s lineárním dopravníkem	30
4.6	Hodnocení jednotlivých variant	31
4.7	Možnost využití strojních celků	33
4.7.1	Vlastní konstrukce manipulačního mechanismu	33
4.7.2	Použití manipulační techniky	33
5	KONSTRUKČNÍ NÁVRH	35
5.1	Vstupní parametry	35
5.1.1	Přehled základních operací JÚS	35
5.2	Návrh celkového konceptu JÚS	36
5.3	Časový diagram stroje	37
5.4	Konstrukce hnízda	38
5.5	Návrh rotačního polohovací stolu	39
5.5.1	Výpočet momentu setrvačnosti soustavy	39
5.5.2	Rotační polohovací stůl WEISS TC 150 T	40
5.6	Návrh stanice 1 – založení a kamerová kontrola	41
5.7	Návrh stanice 2 – vyčištění sítka	41
5.8	Návrh stanice 3 – testování	42
5.8.1	Klidová poloha testovacího mechanismu	43
5.8.2	Pracovní poloha testovacího mechanismu	43

5.9	Návrh stanice 4 – nasazení plastové čepičky	44
5.9.1	Varianty realizace manipulátoru	44
5.9.2	Návrh manipulátoru 4.....	45
5.9.3	Volba vibračního zásobníku a vibračního lineárního pohonu.....	46
5.9.4	Oddělovač čepiček	48
5.10	Návrh stanice 5 – test přítomnosti sítka a ořazení pneumatického šroubení.....	49
5.10.1	Varianty použití senzorů pro detekci sítka	49
5.10.2	Výběr senzoru pro detekci sítka	49
5.10.3	Návrh pneumatické úderové jednotky.....	51
5.11	Návrh stanice 6 – dělení na OK a NOK součástky	53
5.11.1	Návrh manipulátoru 6.....	53
5.11.2	Návrh gravitačního skluzu	54
5.12	Hlavní rám stroje	55
5.13	Upevnění rotačního polohovací stolu k hlavnímu rámu stroje.....	56
5.14	Vizualizace JÚS.....	56
5.14.1	Detailní pohled na JÚS.....	57
5.15	Pneumatický obvod	58
6	BEZPEČNOST TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ	59
6.1	Bezpečnost testovacího zařízení	59
6.1.1	Tlačítko nouzového zastavení	59
6.1.2	Optická závora.....	60
6.1.3	Bezdotykové blokovací zařízení	60
6.1.4	Signalizační věž.....	61
7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	63
8	DOPORUČENÍ PRO PRAXI	65
9	ZHODNOCENÍ A DISKUZE.....	67
10	ZÁVĚR	69
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	71
12	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	75
12.1	Seznam tabulek.....	75
12.2	Seznam obrázků.....	75
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	77

1 ÚVOD

Strojírenství zabezpečuje výstavbu, obnovu a modernizaci výrobně technické základny našeho hospodářství a přispívá k růstu společenské produktivity práce.

Nárůst produktivity práce se zajišťuje uplatňováním efektivních výrobních a montážních postupů vedoucích ke snižování pracnosti. Rozšiřuje se mechanizace fyzicky náročných prací a manipulace s materiálem. Uplatňují se vyšší formy automatizace zejména zaváděním automatizovaných systémů řízení.

Rozhodujícím nástrojem pro zvyšování efektivity a plnění cílů je především využívání vyšších forem automatizace, tj. automatizace celých výrobních fází a jím odpovídajících výrobních soustav.

Cílem automatizace je zajistit růst produktivity práce, dosáhnout vyšší kvality strojírenské produkce a vytvořit podmínky pro termínové plnění výrobních úkolů, dále odstranit fyzicky namáhavou a zdraví škodlivou práci, snížit objem rutinních prací a uvolnit pracovníky ve vlastním výrobním procesu po činnosti s převahou tvůrčí práce. [1]

Obsahem diplomové práce je konstrukční návrh jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení. Testování těsnosti pneumatického šroubení používaného v brzdových systémech je důležitým aspektem pro zachování správné funkce celého systému. Stanovenému cíli diplomové práce odpovídá následující struktura rozdělená do teoretické a praktické části.

Teoretická část práce se zaměřuje na využití pneumatiky v moderní automatizaci a její mechanismy. Následuje rozbor pneumatického šroubení určeného k testování. V současné době se u většiny výrobních strojů využívají sensory, které se rozdělují podle vhodnosti použití. V další části jsou obeznámeny otočné polohovací stoly. Jeden takový je použit při konstrukci stroje.

Praktická část práce se nejprve zabývá systémovým rozбором řešené problematiky. Následuje rozbor dvou konceptů stroje a jeho vyhodnocení. V oblasti konstrukčního návrhu jsou stanoveny požadavky, které musí daný stroj splňovat. Celkový koncept stroje je zpracován do 3D modelů, které jsou doplněny o výkresovou dokumentaci. K testovacímu zařízení je vypracován pneumatický obvod. Závěrečná fáze práce obsahuje ekonomické zhodnocení testovacího stroje.

2 MOTIVACE

Jako malý kluk jsem vyrůstal na venkově, kde jsem měl možnost se s bratry a bratřenci pohybovat v prostředí na farmě. Takové místo je ideální prostor k nahlédnutí do strojírenství. Člověk poznával a učil se, jak věci fungují, ale i jak se dají opravit.

Převážnou část svého mládí jsem také trávil na fotbalových trénincích a zápasech. Toto prostředí mi dalo vytrvalost a vůli bojovat za správnou věc. Na trénincích jsem se snažil zdokonalovat ve hře, ve svých schopnostech. Bavilo mě zkoumat každý pohyb a přemýšlet nad taktikou, abych měl náskok před svými soupeři.

Na střední průmyslové škole jsem se pro strojírenství teprve doslova nadchnul. Měli jsme skvělého třídního učitele, který pro mě byl obrovským vzorem. Líbil se mi jeho inspirativní přístup a nadšení zejména pro robotiku.

Dále bych chtěl zmínit svého otce, který se věnuje strojírenství, především kvůli jeho schopnosti navrhovat strojní zařízení s velkým citem pro detail a příkladnou pílí.

Hodně mě motivoval také můj děda, který si dokázal spoustu věcí usnadnit, vylepšit, opravit i bez použití 3D tisku a moderních technologií, avšak pouze za použití selského rozumu, nadčasových nápadů a svých rukou. Bavila mě každá chvíle s ním. Mám ho rád.

Návrh jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení jsem si vybral proto, že to pro mě byla výzva a téma jednoúčelových strojů mi je blízké. Chtěl jsem navrhnout komplexnější řešení, které dává smysl a je realizovatelné. Naučil jsem se přitom nové věci, které využiji v zaměstnání, ale i v osobním životě.

Vrcholem strojírenství v kombinaci s ostatními odvětvími je pro mě kosmonautika a poznávání vesmíru. Při každém startu Falconu 9 od SpaceX se mi tájí dech, čeho všeho lze dosáhnout. Celkově mám blízký vztah k automatizaci. Líbí se mi a fascinuje mě možnost nahrazování monotónní práce robotem nebo strojním zařízením, které tuto práci usnadní a zejména zefektivní. Toto řešení umožňuje využít lidské zdroje a energii pro kreativní činnosti.

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

3.1 Pneumatika v moderní automatizaci

V současné době se dostávají do popředí elektropneumatické systémy, které vyzdvihují dobré vlastnosti obou typů mechanismů.

Využívání pneumatiky spočívá v jednoduchosti aplikace, ovládání, nízké pořizovací ceně a nenáročnosti na údržbu. Svoje zastoupení má v různých specifických prostředích např. v prostředí s nebezpečím výbuchu, horkém prostředí, ve vlhku a pod vodou. Oproti tomu elektrických pohonů se využívá zejména při častějších změnách nastavení a potřebném polohování pohonů.

Tekutinové mechanismy se využívají především při realizaci přímočarých pohybů a regulovaných pohonů – servomechanismů s možností regulovat polohu, rychlost a sílu. [2]

Mezi nevýhody patří nastavování menších rychlostí pohybu s vyššími nároky na rovnoměrnost pohybu, vysoká cena energie stlačeného vzduchu a omezená tuhost mechanismu daná stlačitelností vzduchu.

3.1.1 Struktura pneumatického mechanismu

Strukturu pneumatického mechanismu lze rozdělit do tří skupin:

Vstupní blok sestává z prvků pro úpravu vzduchu, obecně disponuje standardními prvky: čistič vzduchu s odlučovačem vody, redukční ventil pro nastavení pracovního tlaku v pneumatickém mechanismu a pro stabilizaci kolísajícího napájecího tlaku a prvek pro obohacování vzduchu olejovou mlhou s ohledem na mazání pohyblivých částí.

Rozváděcí blok zahrnuje především prvky pro řízení činnosti motoru, tzn. směr pohybu motoru, jeho rychlost, dále řízení velikosti tlaku, tlumení hluku apod.

Výstupní blok struktury pneumatického mechanismu je motor. [3]



Obr. 1) Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

3.2 Pneumatické nástrčné šroubení

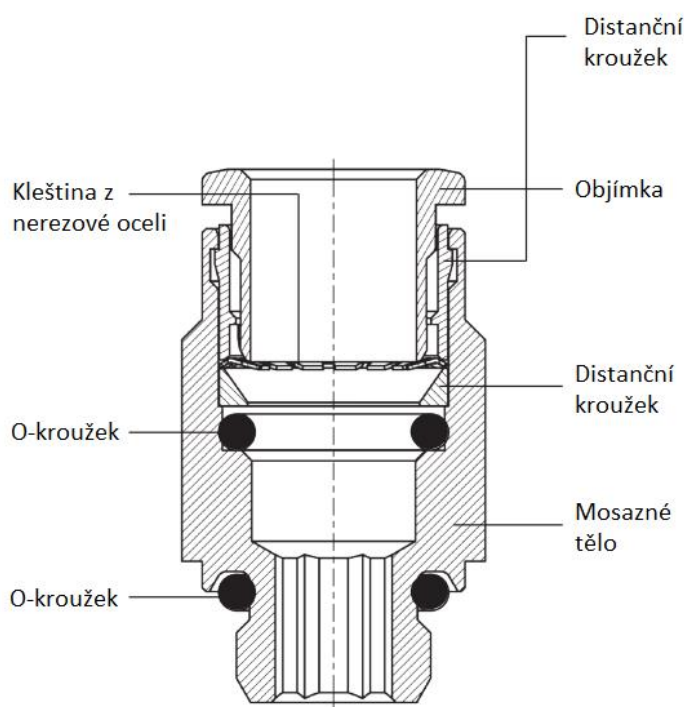
3.2.1 Šroubení pro běžné použití

Pneumatické nástrčné šroubení slouží k rychlému spojení plastových nebo měděných trubek s technologií push-in. Používá se pro běžné pneumatické systémy. [4]



Obr. 2) Pneumatické nástrčné šroubení [5]

Kleština se vyrábí z nerezové oceli a zaručuje dokonalé upínání hadic ze všech druhů materiálů bez poškození jejich povrchů. Spojení mezi hadicí a tvarovkou zaručuje úplnou těsnost pomocí O-kroužků i v náročných podmínkách, např. rázy a vibrace. Všechny prvky jsou vybaveny utahovacími částmi, které umožňují přímou montáž armatur, což zkracuje dobu instalace. Tvarovky lze smontovat imbusovým klíčem, proto lze použít ve stísněných podmínkách. [6]



Obr. 3) Řez pneumatickým nástrčným šroubením [7]

3.2.2 Šroubení používané v brzdových systémech

Šroubení slouží k rychlému spojení flexibilních plastových hadic v brzdových systémech. Využívají technologii push-in. Mezi výhody patří vysoká pevnost, odolnost vůči vysokým teplotám a vibracím. Používají se v železničních a silničních dopravních prostředcích. [4]

Optimální design

- extrémní kompaktnost pro úsporu místa
- snížení hmotnosti oproti tradičním brzdovým zařízením
- integrovaná podpora polymerové hadice zajišťuje vyrovnaní a zadržení hadice pro vynikající odolnost proti vibracím a utěsnění zajištěno v průběhu čase
- plně znovu použitelné, snižuje náklady na údržbu

Vysoký výkon

- pozitivní držení díky inovativní konstrukci upínacího kroužku umožňujícího absorpci vibrací a pulzujícího tlaku
- vynikající mechanické vlastnosti přizpůsobené náročným pracovním podmínkám
- sestava bez kroucení umožňující volnou rotaci trubice i pod tlakem, vysokou odolnost vůči roztažení trubice a vysokou životnost

Spolehlivost

- 100 % testováno na těsnost ve výrobě
- datové kódování pro zajištění kvality a sledovatelnosti
- vhodné s pružnými hadicemi v brzdovém systému
- kontrola pohyblivosti [8]



Obr. 4) Šroubení používané v brzdových systémech [8]

Tab 1) Technické údaje – Prestomatic 2 [9]

Médium	Stlačený vzduch
Pracovní tlak	25 barů
Materiál těla	Mosaz
Materiál upínacího kroužku	Nerezová ocel
Maximální pracovní teplota	100 °C
Minimální pracovní teplota	-40 °C
Aplikace	Vzduchové brzdové systémy, vzduchové odpružení, podvozek, brzdění motorem, pantograf, kontrola pohyblivosti

3.3 Testování těsnosti

Pro správnou funkci a bezpečnost je potřeba pneumatické šroubení v brzdových systémech testovat. Provádí se kontrola těsnosti vnitřního O-kroužku, který je zobrazen na (Obr. 17). Zpravidla se provádí kontrola každého vyrobeného kusu.

3.3.1 Měření těsnosti poklesem tlaku

Tlak lze rozdělit na absolutní a relativní. Absolutní tlak se vztahuje k nulové hodnotě tlaku a relativní tlak lze chápat jako přetlak nebo podtlak oproti barometrickému tlaku. Dále lze dělit tlak na statický a dynamický. Při měření těsnosti se běžně využívá statického tlaku.

K měření poklesu tlaku se používá kompresor a tlakoměr. Citlivost se obecně omezuje velikostí úniku do 10^{-4} mbar·l/s. Přesnost testů významně závisí na teplotě, proto kolísání teploty zhoršuje přesnost výsledků. [10]

Hlavní princip měřícího přístroje F620 od společnosti ATEQ s.r.o. spočívá v diferenčním měření poklesu tlaku. Vyznačuje se velkým rozsahem poklesu tlaku 50 Pa až 5000 Pa. Umožňuje několik módů testování a má velice flexibilní formát komunikace: ProfiBus, DeviceNet, ProfiNet, Ethernet/IP, ModBus TCP.

Přístroj se využívá pro testování kvality součástí ve výrobě. Aplikují se především v automobilovém průmyslu, domácích spotřebičích, lékařských potřebách, letectví, balicí technice, potravinářství nebo kosmetice. [11]



Obr. 5) Měřící přístroj pro zkoušky těsnosti F620 [11]

3.3.2 Měření těsnosti průtokem vzduchu

Slovním spojením průtok plynu lze označit tři různé veličiny:

- rychlostní průtok [m/s] – střední rychlost proudění měřeného média
- hmotnostní průtok [kg/s] – hmotnost vzduchu, který proteče potrubím za jednotku času
- objemový průtok [m³/h] – objem tekutiny, který proteče potrubím za jednotku času.

Hmotnostní průtokoměry měří přímo hmotnostní průtok nezávislý na tlaku a teplotě. U tepelného hmotnostního průtokoměru se instaluje sensor do proudu vzduchu. Tento sensor se skládá ze dvou platinových rezistorů. Jeden rezistor měří teplotu vzduchu, druhý je ochlazován proudem vzduchu, ale je udržována konstantní teplota. Na základě potřebného výkonu k udržení teploty tělíska se vypočítává hmotnostní průtok.

Kalorimetrické průtokoměry využívají obtokový kanál, kde se nachází vyhřívaná spirála a po obou stranách spirály odporové snímače teploty. Na základě rozdílu napětí se vyhodnocuje proudění média. [12]

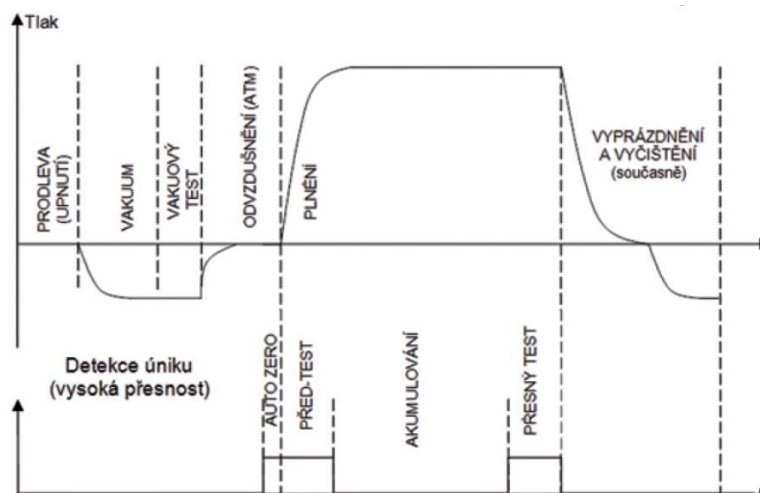
3.3.3 Měření těsnosti pomocí detekce vodíku

Přístroj ATEQ H6000 měl schopnost detekovat velmi malé množství vodíku. Testovaná součást se naplnila směsí 4,5 až 5 % vodíku v dusíku. Na základě zkušeností a vývoje přístroje H6000 bylo vyvinuto řešení pro automatické linky v podobě přístroje ATEQ H520, který je znázorněn na (Obr. 6).



Obr. 6) Inovativní přístroj ATEQ H520 [13]

Testovaná součást se naplní směsí vodíku a dusíku a umístí se pod testovací zvon, ze kterého se řízeně odsává vzduch přes sensor, který detekuje přítomnost vodíku. V případě netěsnosti testované součásti proniká směs do prostoru pod zvon. Zde postupně narůstá koncentrace vodíku. Rychlost nárůstu koncentrace vodíku v čase závisí na velikosti netěsnosti, koncentraci plnicí směsi a objemu zvonu. Pro efektivní a rychlé měření je potřeba optimalizovat objem a tvar zvonu. Současně se musí použít co nejcitlivější sensor zaznamenávající změny koncentrace vodíku. Jednotlivé fáze celého automatického cyklu znázorňuje (Obr. 7).



Obr. 7) Jednotlivé fáze měřicího cyklu [13]

Nejdříve probíhá vakuování testované součásti. Na konci fáze VAKUUM se testovaná součást izoluje od vakuové pumpy a přístroj měří nárůst tlaku. Tato fáze slouží ke zjištění hrubých netěsností. Tímto procesem se šetří produkční čas. Další fází je PLNĚNÍ směsí vodíku a dusíku, na konci této fáze přístroj kontroluje, zda se dosáhlo požadovaného tlaku testu. Po ustálení hodnoty tlaku přístroj otevře sací ventil a zahájí odsávání vzduchu ze zvonu. Pro

každou součást se nastaví mezní limity koncentrace vodíku a tím se definují povolené netěsnosti.

Jestliže přístroj vyhodnotí vyšší koncentrace vodíku, než určuje stanovený limit, součást nevyhovuje. V opačném případě součástka prošla testem těsnosti a je vyhodnocena jako vyhovující. Cyklus se zakončuje VYPRÁZDNĚNÍM součásti mimo prostor měření a VYČIŠTĚNÍM senzoru tak, aby byl přístroj připraven k dalšímu měření. [13]

3.4 Přítomnost senzorů

V průmyslové automatické výrobě je obvykle nutné detekovat přítomnost objektu, předmětu nebo kapaliny v určitých místech stroje nebo linky a následně řídit a časovat práci různých částí stroje. K tomu se musí vhodně zvolit typ snímače pro opakovatelně spolehlivou detekci.

Běžné typy vyráběných sensorů:

indukční – detekují přítomnost kovových částí nebo objektů na malou vzdálenost

kapacitní – umožňují detekci téměř jakéhokoliv materiálu včetně průhledných a tekutin

ultrazvukové – detekce pevných větších předmětů nebo kapalin

optické difuzní – detekce blízkého neprůhledného, ale i průsvitného objektu

optické reflexní – detekce blízkých i vzdálených neprůhledných pevných předmětů

magnetické – detekce magnetických materiálů

teplotní – detekce přítomnosti libovolných objektů dle jejich teploty rozdílné od prostředí.

3.4.1 Optoelektronické snímače

Používají se pro detekci téměř libovolných objektů a produktů v běžných podmínkách. V případě prachem znečištěném prostředí se využívají zpravidla indukční, kapacitní nebo ultrazvukové sensory.

Difuzní snímače jsou založené na principu detekce paprsku světla odraženého od samotného detekovaného předmětu. Za snímaným objektem se nesmí nacházet blízké pozadí s podobnými optickými vlastnostmi. Nejlépe se detekují bílé, nejhůře černé předměty.

Reflexní snímače využívají k detekci objektu přerušení vysílaného paprsku světla, který se trvale odráží od protilehlé odrazky. Barva předmětu ani pozadí neovlivňuje funkci sensoru. [14]



Obr. 8) Optoelektronický snímač WT12L-2B551 [15]

Tab 2) Technické údaje – optoelektronický snímač WT12L-2B551 [15]

Princip senzoru/detekce	Reflexní světelný snímač, zaclonění pozadí
Rozměry (Š x V x H)	15 mm x 49 mm x 41,5 mm
Provedení pouzdra (výstup světla)	Ve tvaru kvádru
Snímací vzdálenost max.	30 mm až 200 mm
Zaostření	100 mm
Druh světla	Viditelné červené světlo
Vysílač světla	Laser
Velikost světelného bodu (vzdálenost)	0,2 mm (100 mm)
Vlnová délka	650 nm
Třída laseru	1
Nastavení	Potenciometr

3.4.2 Průmyslové kamery

Průmyslové 2D kamery umožňují kontrolu kvality, přesné stanovení pozice, přesné měření a identifikaci. Jedná se o průmyslové zpracování obrazu, které umožňuje vysokou variabilitu použití. Průmyslové 3D kamery se hojně využívají pro strojové vidění při navádění robotů.

Společnost SICK s.r.o. se řadí mezi přední výrobce senzorických, bezpečnostních a kamerových systémů. Firma dodává velké množství Smart kamer jak pro 2D, tak pro 3D strojové vidění. Kamera picoCam2 znázorněna na (Obr. 9) se hodí pro různé aplikace: kontrola přítomnosti, kontrola kvality, inspekce, měření a polohování. [16]



Obr. 9) Průmyslová 2D kamera picoCam2 [16]

Tab 3) Technické údaje – průmyslová 2D kamera picoCam2 [16]

Technologie	2D snímek, barva
Použitý sensor	Sony IMx264
Objektiv	C-Mount 2/3"
Napájecí napětí	12 V až 24 V
Stupeň krytí	IP30
Hmotnost	52 g
Rozměry (D x V x H)	29 mm x 29 mm x 29 mm
Stanovení úlohy	Kontrola přítomnosti, kontrola kvality, inspekce barev, měření 2D, polohování

3.4.3 Indukční sensory

Průmyslové indukční sensory umožňují bezkontaktně detekovat přiblížení elektricky vodivých předmětů. Jejich hlavní výhodou je možnost bezchybně dlouhodobě pracovat v prašném nebo jinak znečištěném průmyslovém prostředí. V průmyslu se využívají pro bezkontaktní spolehlivé detekce pohybu, dorazy, limitní posuv, natočení, vyosení apod. Obecně slouží pro vyhodnocení přítomnosti kovového materiálu. [17]

Pracují na principu vysokofrekvenčního elektromagnetického střídavého pole (identifikovaný objekt toto pole zatlumuje). Ve snímaném tlumicím materiálu jsou indukovány vířivé proudy, které odebírají energii z pole, což má za následek snižující velikost oscilační amplitudy. Na (Obr. 10) lze vidět indukční sensor IFM.



Obr. 10) Indukční snímač válcový [18]

Tab 4) Technické údaje – indukční sensor IFS713 [18]

Spínací vzdálenost [mm]	4
Rozměry [mm]	M12 x 1 / L = 40
Provozní napětí [V]	10 až 30 DC
Spínací frekvence DC [Hz]	700
Pracovní vzdálenost [mm]	0 až 3,24
Korekční faktor	Ocel:1 / Nerezová ocel: 0,7 / Mosaz: 0,5 / Hliník: 0,4 / Měď: 0,3
Hystereze [% z Sr]	3 až 15
Odchylka spínacího bodu [% z Sr]	-10 až 10
Krytí	IP 65; IP 66; IP 67; IP 68; IP 69K
Hmotnost [g]	71,3

3.5 Polohovací stoly

Rotační polohovací stoly jsou častou a nedílnou součástí jednoúčelových strojů určených pro testovací aplikace s více operačními stanicemi. Polohování rotačních stolů nejčastěji zajišťuje elektrický pohon nebo pneumatika.

3.5.1 WEISS

Americká společnost WEISS vyrábějící rotační indexovací stoly se pohybuje na trhu více než 30 let a zaručuje vysokou spolehlivost a kvalitu. TC rotační indexovací stoly jsou robustní, spolehlivé a universální. Vyznačují se vysokou přesností, rychlostí a bezúdržbovým provozem.

Princip činnosti rotačních indexovacích stolů spočívá ve vysoce přesné vačce, která zahrnuje určitý pohybový vzor. Tento mechanismus se vyznačuje nejvyšší přesností a nulovými vůlemi, které se dosahují díky předepnutým kopírovačům vačky na pozicích zastavení. Firma WEISS nabízí mnoho konfigurací jako např.: polohy umístění motoru, montážní polohy, úroveň rychlosti, indexování od 2 do 60 pozic a režim změny směru otáčení.

Kopírovací čepy jsou uloženy v jehlových ložiskách, které zaručují dlouhou živostnost. Otočná deska uložená ve třech ložiskách vydrží velké zatížení. Olejová lázeň se stará o nízké opotřebení. Díky kompaktnímu designu klade polohovací kruhový stůl minimální požadavky na prostor. Elektrické kabely či pneumatické hadice lze vést velkým centrálním otvorem.



Obr. 11) Kompletní rotační polohovací stůl [19]

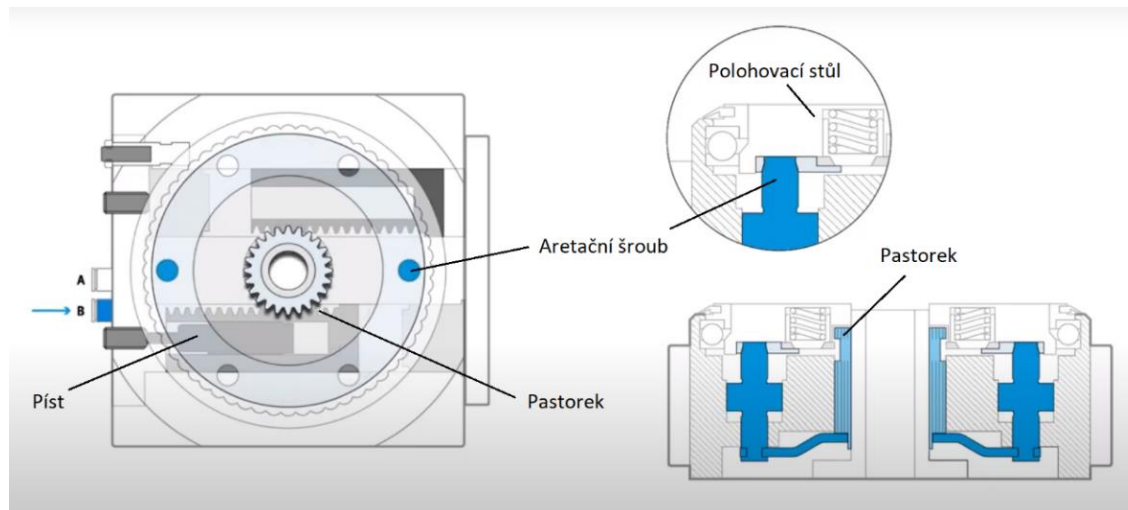
3.5.2 FESTO

Společnost FESTO zabývající se automatizační technikou nabízí kromě pneumatických válců, chapadel, vakuové techniky a mnoho dalších pneumatických prvků také pneumatické rotační polohovací stoly.



Obr. 12) Pneumatický rotační polohovací stůl FESTO [20]

Polohovací stůl se kompletně ovládá stlačeným vzduchem. Otáčení stolu zajišťuje pneumatický válec, který je přes ozubený hřeben a pastorek spojený s polohovacím stolem. Přivedený stlačený vzduch na vstup A zajistí pootočení stolu o jednu pozici. Přívod stlačeného vzduchu na vstup B zvedne aretační šroub, který zajistí polohovací stůl. Pneumatický válec se následně vrátí do výchozí pozice.



Obr. 13) Princip polohovacího stolu FESTO [21]

Tab 5) Technické údaje – pneumatický rotační polohovací stůl [22]

Velikost		65	90	140	220
Síly					
Maximální axiální síla	[N]	1000	2000	4000	5000
Maximální radiální síla	[N]	2000	5000	6000	8000
Moment					
Maximální klopný moment	[Nm]	100	150	300	500
Maximální tangenciální moment	[Nm]	100	150	200	500

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Při konstrukci jednoúčelových strojů nelze postupovat intuitivně. Konstruktor při takovém zadání musí postupovat podle systémového pojetí řešené problematiky. Díky takovému postupu lze dosáhnout požadovaných cílů a výsledků s co nejmenšími náklady na konstrukci a následnou výrobu a montáž.

4.1 Problémová situace

Konstrukce jednoúčelových strojů je obecně velice náročná na požadavky technických znalostí konstruktéra. Konstruktor musí prokázat znalosti v oblasti navrhování strojů a strojních zařízení, navrhování pneumatických obvodů, pevnostních výpočtů. V neposlední řadě musí úzce spolupracovat s elektro oddělením. V této diplomové práci bude nejprve nutné spočítat moment setrvačnosti soustavy pro volbu vhodného polohovacího stolu, dále navrhnout celkový koncept jednoúčelové stroje, rozmístění jednotlivých stanic a časový plán jednoho testovacího taktu. Následně se provede analýza snímačů a vyberou se vhodné snímače pro detekci testované součástky a kontrolu přítomnosti sítky. Posléze se musí navrhnout principy operací na jednotlivých hnízdech a s příslušnými detaily rozpracovat ve 3D CAD softwaru SolidWorks. S tím souvisí návrh pneumatických válců a pneumatického schématu. Na závěr bude provedeno ekonomické zhodnocení.

4.2 Formulace problému

Konstrukční návrh jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení se odvíjí od zadaných požadavků a konkrétního testovacího kusu. Tedy jakým tlakem je nutno pneumatické šroubení testovat a o jaký typ šroubení se jedná.

4.3 Formulace cílů a řešení

Cíle diplomové práce jsou následující:

- zvolení vhodného způsobu řešení problému
- konstrukční návrh s možnými variantami a vhodný výběr
- ekonomické zhodnocení
- zpracování výkresové dokumentace
- závěr a doporučení.

4.4 Popis řešené soustavy

Jednoúčelový stroj pro automatické testování pneumatického šroubení se skládá z hlavního rámu. K tomuto rámu se připevní polohovací stůl, který tvoří nosnou soustavu pro jednotlivá hnízda a přídatná zařízení provádějící příslušné operace. Testovací zařízení využívá pneumatické válce. Další součástí jednoúčelového stroje je elektrický rozvaděč, ochranné kryty a optická závora, věžový maják a ovládací panel.

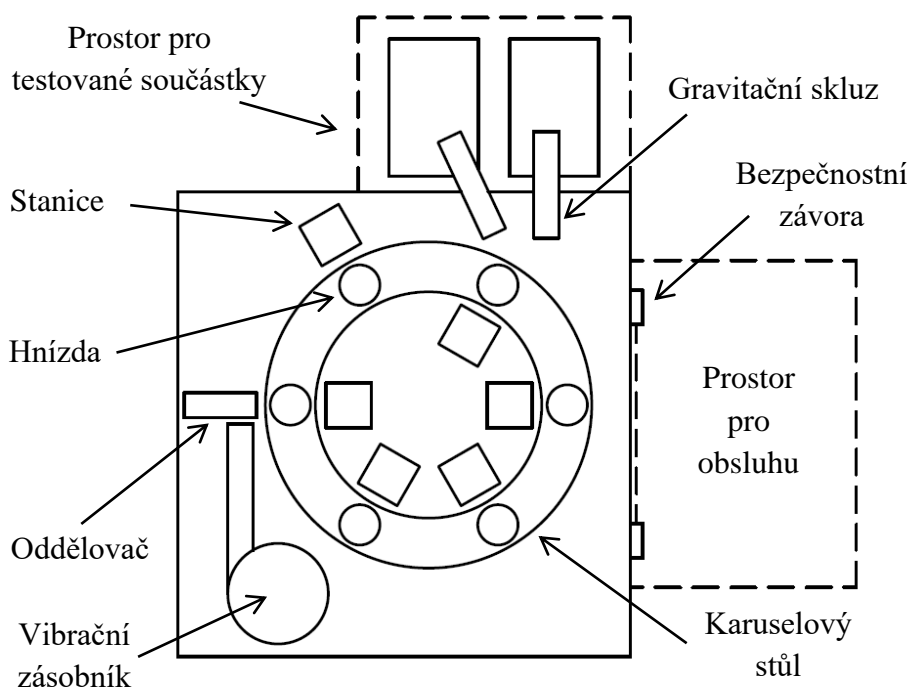
4.5 Realizovatelnost základního konceptu stroje

Zpravidla lze použít dva základní typy jednoúčelových strojů, které se dělí podle směru toku materiálu.

4.5.1 Varianta s karuselem

První koncept jednoúčelového stroje využívá karuselový způsob. Jedná se o použití rotačního polohovacího stolu, který tvoří základní stavební celek. Na vnitřní statickou desku lze implementovat stanice. Otvorem ve středu je možno vést potřebné kabely a hadice. Rotační kruhová deska slouží jako nosný prvek pro hnízda, do kterých se zakládají součástky. Rotační polohovací stoly se vyznačují vysokou přesností díky vačkovému mechanismu.

Použití karuselových strojů převažuje v montážních, lisovacích a obráběcích operacích. Zejména se jedná o součástky menších rozměrů. Výhodou je značná úspora zástavbového prostoru, jednoduchost rozvodu elektrických kabelů a pneumatických hadic. Kruhový tvar umožňuje přívětivou montáž jednotlivých stanic. Ve firmách zabývajících se návrhem a výrobou jednoúčelových strojů se obecně běžněji využívá koncept stroje s rotačním polohovacím stolem. Koncept s karuselem znázorňuje (Obr. 14).



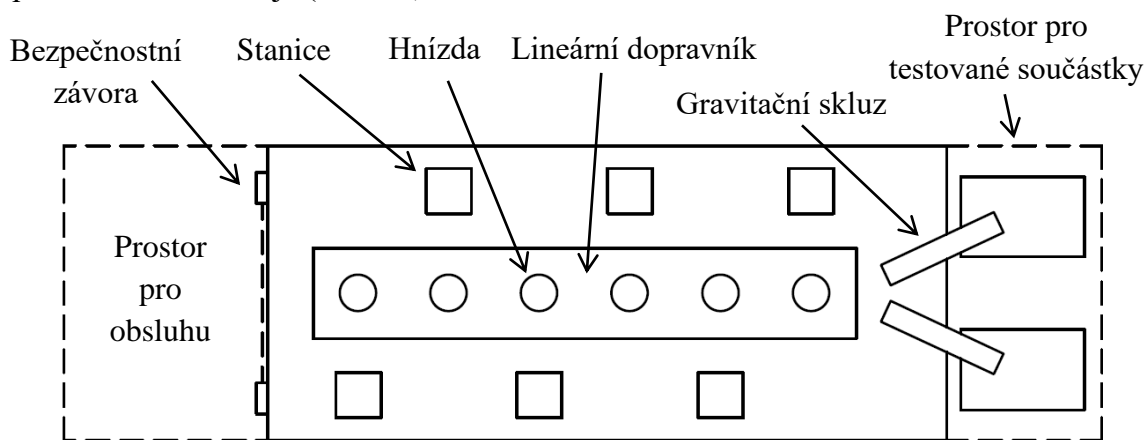
Obr. 14) Koncept JÚS s karuselem

4.5.2 Varianta s lineárním dopravníkem

Druhý koncept jednoúčelového stroje využívá lineární dopravník s technologickými paletkami. Lineární dopravník může být orientovaný dvěma způsoby. V prvním případě se technologické paletky s hnízdy vracejí vertikálně pod pracovním prostorem. Ve druhém případě má dopravník horizontální oválný tvar, který je ovšem náročnější na zástavbový prostor.

Testovaný produkt se pohybuje po přímce, jednotlivé stanice se implementují lineárně za sebou. Zde musí být zajištěn dostatek prostoru kolem hnízd a stanic, což výrazněji prodlužuje délku celého testovacího zařízení. Rozvaděč s pneumatikou se umístí pod dopravník do základního rámu.

Použití lineárních strojů převažuje v balicích, plnicích a etiketovacích operacích. Tento koncept stroje se využívá pro nepřetržitý tok materiálu, který následně pokračuje po dopravníkovém systému, kde se posléze provádí paletizace produktu. Koncept s lineárním dopravníkem znázorňuje (Obr. 15).



Obr. 15) Koncept JÚS s lineárním dopravníkem

4.6 Hodnocení jednotlivých variant

Pro výběr nejlepší varianty jsou navržené koncepty posuzovány metodou vážených hodnot. Zvolená metoda analyzuje výhody a nevýhody jednotlivých návrhů. Mezi hlavní kritéria patří přesnost polohování, produktivita a cena stroje.

Hodnotící kritéria vychází z požadavku na testovací zařízení. Každé kritérium má přiřazenou určitou váhu podle důležitosti a zároveň se bodově hodnotí podle (Tab. 6). Bodové hodnocení se pohybuje na stupnici od 1 do 5. Váha kritéria je udávána v procentech (100 % - významná váha, 0 % - nevýznamná váha).

Tab 6) Tabulka s bodovým hodnocením

Počet bodů	Hodnocení
1	Nevyhovuje (minimální hodnota)
2	Vyhovuje málo
3	Vyhovuje dobře
4	Vyhovuje velmi dobře
5	Vyhovuje výborně (maximální hodnota)

Tab 7) Tabulka hodnotících kritérií

	KRITÉRIUM	VÁHA %
1.	Přesnost polohování	100 %
2.	Produktivita	100 %
3.	Pořizovací cena	100 %
4.	Konstrukční náročnost	80 %
5.	Velikost zástavbového prostoru	70 %
6.	Snadný přístup pro seřizování	40 %
7.	Rozvod hadic pro stlačený vzduch	30 %

Bodové hodnocení variant

Na základě tabulky hodnotících kritérií a tabulky s bodovým hodnocením se vytvoří výsledná tabulka s číselnými hodnotami, které se počítají podle (rov. 1). Každé hodnocení se převede na číselnou hodnotu (body). Tyto body se následně sčítají a výsledná suma udává míru vhodnosti řešení v porovnání s ostatními. Nejlépe hodnocená varianta bude mít nejvyšší bodovou hodnotu.

$$\text{Body} = \frac{\text{Hodnocení}}{\text{Maximální hodnota hodnocení}} \cdot 100 \cdot \text{Váha kritéria} \quad (1)$$

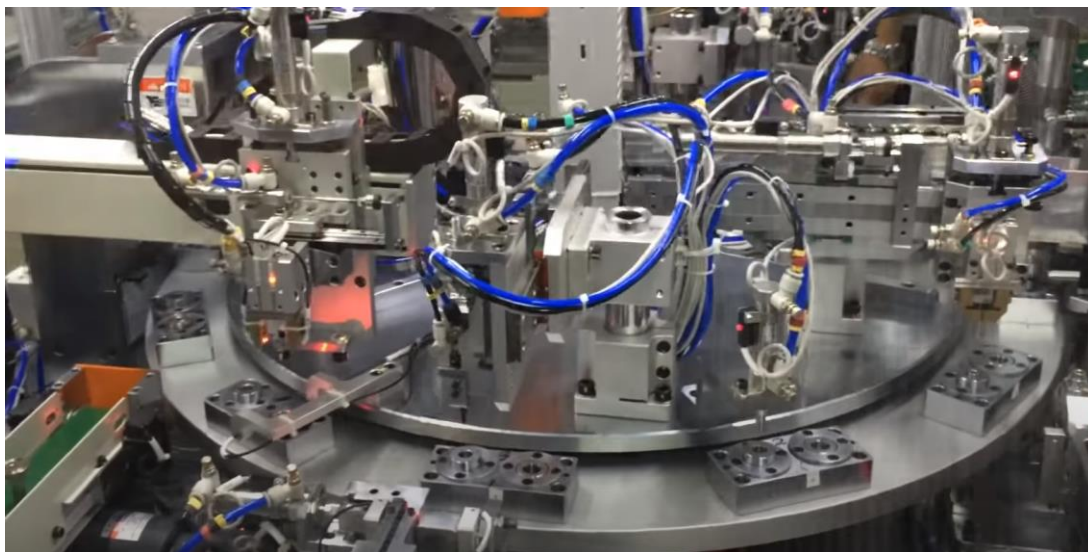
Tab 8) Tabulka hodnotících variant

	Varianta s karuselem			Varianta s lineárním dopravníkem		
Kritérium	Váha kritéria	Hodnocení	Body	Váha kritéria	Hodnocení	Body
Přesnost polohování	1	5	100	1	4	80
Produktivita	1	4	80	1	4	80
Pořizovací cena	1	4	80	1	3	60
Konstrukční náročnost	0,8	4	64	0,8	3	48
Velikost zástavbového prostoru	0,7	5	70	0,7	3	42
Snadný přístup pro seřizování	0,4	3	24	0,4	4	32
Rozvod hadic pro stlačený vzduch	0,3	5	30	0,3	4	24
Suma			448			366

Zvolená varianta

Metodou vážených hodnot vyšla výhodněji varianta s karuselem. Praktická část práce se proto dále zabývá jednoúčelovým testovacím strojem, který využívá rotační polohovací stůl. U této varianty je navržen základní koncept stroje, zpracován časový diagram a proveden detailní konstrukční návrh.

Pohled na reálný jednoúčelový stroj s karuselem z praxe je vidět na (Obr. 16).



Obr. 16) Pohled na karuselový jednoúčelový stroj [23]

4.7 Možnost využití strojních celků

V běžné praxi se při konstrukci jednoúčelových strojů často využívají normalizované dílce. Hovořit lze i o 50 % nakupovaných dílech i v kombinaci s jejich úpravami oproti vyráběným. Tento poměr se samozřejmě liší podle konkrétního zadání na stroj a možnostech konstruktéra.

4.7.1 Vlastní konstrukce manipulačního mechanismu

Vlastní koncept manipulačního mechanismu vyžaduje více odborných znalostí konstruktéra. Konstrukce mechanismu zahrnuje více specifických obráběných dílů než při použití manipulačního zařízení od dodavatele. Při vlastní konstrukci lze použít lineární vedení, která se vyznačují vysokou tuhostí. Taková řešení jsou vhodná pro náročné a velice přesné aplikace.

4.7.2 Použití manipulační techniky

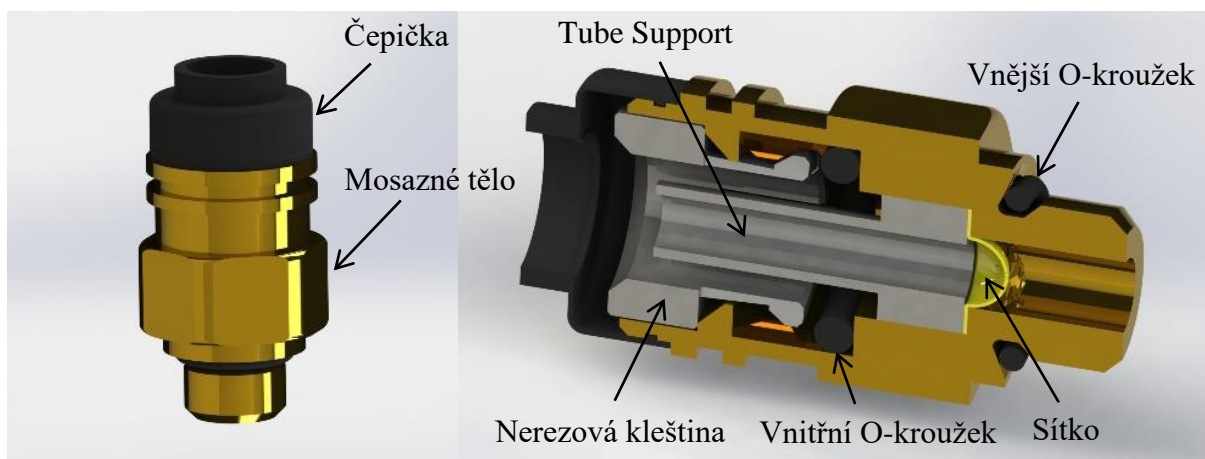
Mezi výhody manipulační techniky patří variabilita, jednoduchá montáž a snadné přestavení koncových bodů (pracovního rozsahu) pro manipulaci se součástkami. Dalším kritériem pro použití manipulační techniky je servis a údržba. Jednotlivé normalizované komponenty lze snadno nahradit.

5 KONSTRUKČNÍ NÁVRH

Následující kapitola je rozdělena do několika částí, které jsou nezbytné pro návrh a konstrukci jednoúčelového stroje. První část analyzuje návrh celkového konceptu stroje, časového diagramu stroje, optimálního tvaru hnízda a obsahuje výpočet výsledného momentu setrvačnosti působícího na rotační polohovací stůl. Na základě této analýzy je vybrán vyhovující typ polohovacího stolu. Druhá část postupně rozebírá jednotlivé stanice a uvádí principy jejich funkce a konstrukční návrhy. Závěrečný bod se zabývá návrhem pneumatického schématu.

5.1 Vstupní parametry

Vstupním parametrem je fyzická součástka, jedná se o pneumatické šroubení používané v brzdových systémech. Zadáním diplomové práce spočívá v konstrukci jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení znázorněného na (Obr. 17). Zejména se musí řešit zkouška těsnosti mezi O-kroužkem a Tube Supportem (integrována podpora hadice, která zajišťuje vyrovnání a zadržení hadice proti vibracím a zaručuje dobré utěsnění).



Obr. 17) Testované pneumatické šroubení

5.1.1 Přehled základních operací JÚS

Jednoúčelový stroj má splňovat následující body:

Stanice 1

Manuální zakládání dílů do hnízda. Kamerová kontrola správného založení dílu.

Stanice 2

Profouknutí fitinky kvůli možným otřepům a vyčištění sítka.

Stanice 3

Test těsnosti vnitřního O-kroužku. Ucpání průchodu vzduchu pneumatickým šroubením. Následné vpouštění tlaku vzduchu mezi O-kroužek a Tube Support a kontrola těsnosti.

Stanice 4

Nasazení plastové ochranné krytky (čepičky) na straně připojovací hadice.

Stanice 5

Test přítomnosti sítk. Vyražení na plošku šestihranu (prokázání testu na těsnost).

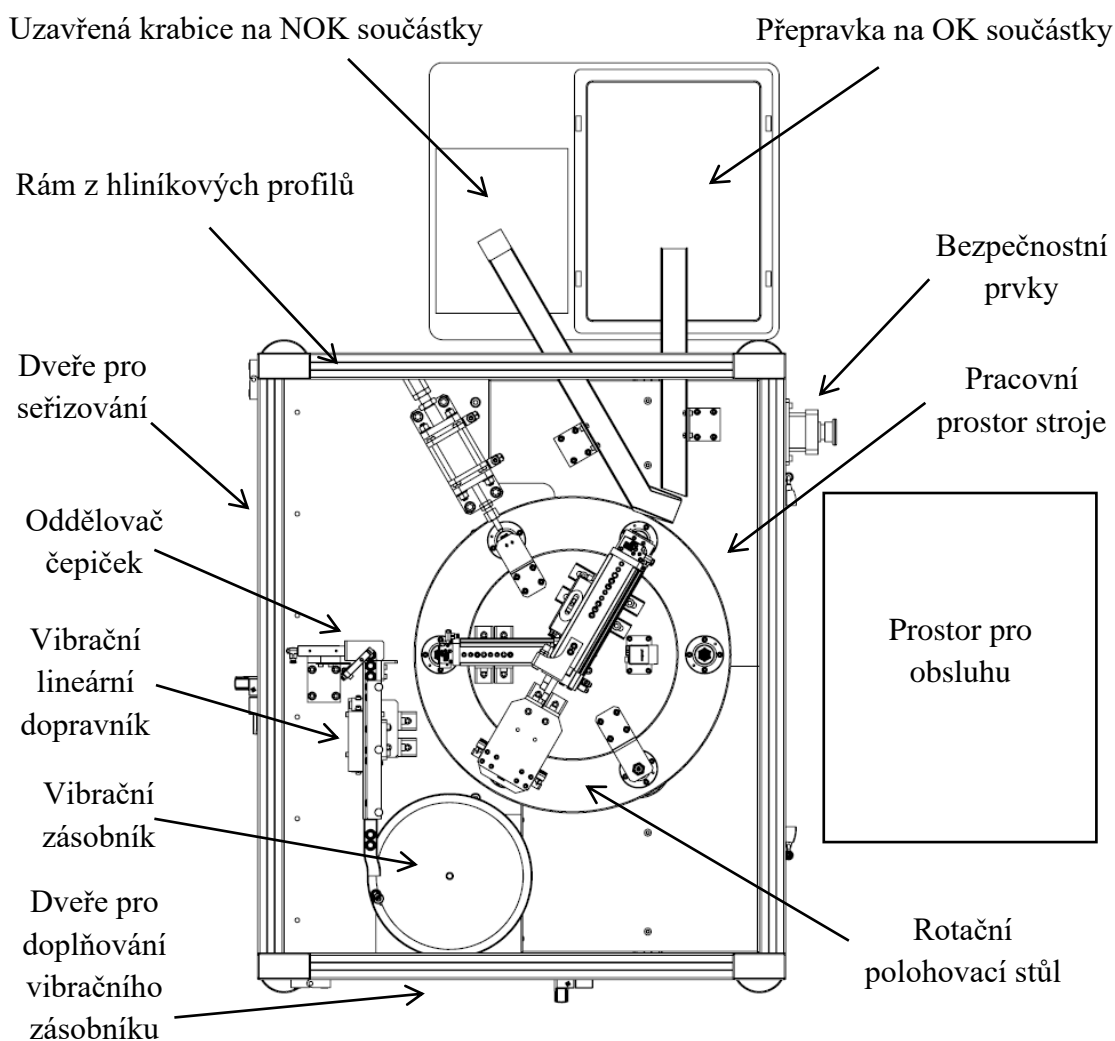
Stanice 6

Rozdělení na shodné a neshodné kusy (OK a NOK).

5.2 Návrh celkového konceptu JÚS

Na základě vyhodnocení variant z kapitoly (4.6) je detailněji zpracován základní koncept stroje s rotačním polohovacím stolem. Koncept stroje definuje rozložení jednotlivých stanic, pozici operátora, rozmístění ovládacích prvků a základní princip optimálního toku materiálu.

Základní rám stroje tvoří hliníkové profily, ke kterým se upevní nosná deska sloužící k uchycení polohovacího rotačního stolu. Polohovací rotační stůl se skládá ze statické a rotační kruhové desky. Snahou je jednotlivé stanice umístit na statickou desku, což umožňuje lepší přístup pro seřizování a úsporu místa. V pracovním prostoru stroje se nachází vibrační zásobník umístěný tak, aby zabíral co nejméně místa. Vně jednoúčelového testovacího stroje se umístí stůl s přepravkami na shodné a neshodné kusy. Po konstrukci a optimalizaci všech detailních uzlů jednoúčelového stroje vyplývá minimální velikost zástavbového prostoru. Celkový koncept stroje znázorňuje (Obr. 18).



Obr. 18) Koncept jednoúčelového stroje

5.3 Časový diagram stroje

Časový diagram stroje slouží k přehlednému znázornění časových závislostí mezi jednotlivými operacemi. Tvorba tohoto diagramu se opírá o požadavky na stroj a technické možnosti. Tedy jakou časovou jednotku daná operace potřebuje pro vykonání úlohy. Výsledek provedeného rozboru určí čas potřebný na jeden takt stroje. V tomto případě pro vytvoření časového diagramu stroje použijeme Ganttův diagram.

Ganttův diagram se využívá při řízení projektů pro grafické znázornění naplánování posloupnosti činností v čase. Horizontální osa znázorňuje časové období trvání projektu rozdělené do stejně dlouhých časových jednotek. Na vertikální ose jsou pak jednotlivé činnosti, na které se projekt člení, jeden řádek vždy určuje jednu činnost [24]. Ganttův diagram má dva základní typy, jeden slouží pro analýzu proudové výroby (Flow Shop), druhý se využívá pro zakázkovou (kusovou) výrobu (Job Shop).

Pro vytváření časového diagramu stroje je potřeba se seznámit s požadavky na množství vyráběných kusů. Kombinací požadavků a technických možností lze najít optimální řešení. Všechny uvedené časy v (Tab. 9) se opírají o výpočty, analýzy a v neposlední řadě o kvalifikovaný odhad. Odborné stanovení času je nutné například u operace, kdy obsluha zakládá testovaný díl.

Tab 9) Flow Shop – časové údaje jednotlivých operací

Součást	Polohování – P	Stanice 1	Stanice 2	Stanice 3	Stanice 4	Stanice 5	Stanice 6
1	0,25 s	3 s	2 s	10 s	1,1 s	0,3 s	1,8 s

Časové údaje jednotlivých operací v (Tab. 9) se využívají pro vytvoření časového diagramu stroje, který je znázorněn v (Tab. 10).

Tab 10) Ganttův diagram pro JÚS

Stanice							
1	1	P					
2		1	P				
3			1		P		
4					1	P	
5						1	P
6							1
	0		5		10		15
							19,45
							20
							Čas [s]

Z Ganttova diagramu pro jednoúčelový stroj lze vyčíst, že pokud by stroj zpracoval kompletní cyklus pro jednu součástku, dosáhl by času pro vyhotovení 19,45 s. V tomto případě je nutno brát v úvahu, že stanice vykonávají jednotlivé operace současně. Z úvahy proto vyplývá, že jeden takt stroje udává nejpomalejší stanice v soustavě.

Měřicí stanice 3 podle (Tab. 9) dosahuje nejdelšího operačního času. Výsledný takt stroje trvá tedy 10,25 s. Na stanici 4 a stanici 6 jsou použity pneumtické manipulátory, které mají výraznou časovou rezervu na takt stroje. Pohyby manipulátorů se proto regulují škrtícími ventily, díky kterým lze dosáhnout plynulejších a energeticky úspornějších pohybů.

5.4 Konstrukce hnízda

Konstrukce hnízda je prvotní a velice významná část návrhu, od kterého se odvíjí principy řešení prováděných operací na jednotlivých stanicích. Hlavním požadavkem je dosažení nízké hmotnosti hnízda pro maximální zkrácení vedlejšího neproduktivního času potřebného k pootočení polohovacího rotačního stolu.

Požadavky na hnízdo:

- nízká hmotnost
- snadné založení dílu
- možnost kamerové kontroly správného založení dílu
- jednoduché a přesné upnutí pomocí středících kolíků
- možnost oražení testované součástky na plošce šestihranu
- bezpečné zajištění součástky při polohování a vykonávání jednotlivých operací tak, aby nedošlo k jejímu uvolnění
- případná variabilita velikosti testované součástky.

Při konstrukci hnízda byly uvažovány dva základní typy. První návrh ve tvaru kvádrů se ukázal jako neefektivní s ohledem na tvar testované součástky. Hnízdo ve tvaru kvádrů by vyšlo výhodnější, pokud bychom chtěli výrazněji zvýšit produktivitu testování a zakládat dva díly současně. Ovšem potom by se jednalo o mnohem složitější konstrukci jednoúčelového stroje a výrazně vyšší pořizovací náklady.

Výhodněji se jeví válcovitý tvar hnízda. Postupnými úpravami a optimalizacemi v průběhu konstrukce JÚS byl navržen výsledný tvar zobrazený na (Obr. 19).

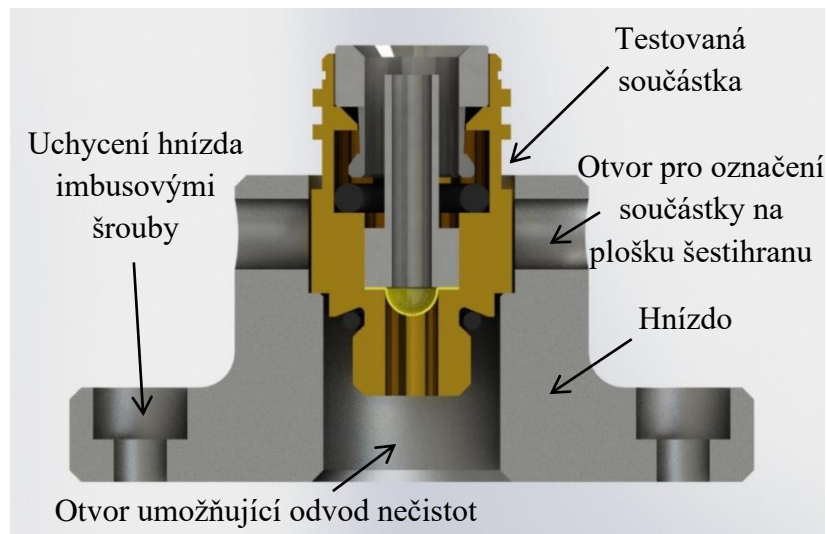
Frézovaný šestihran plní funkci zajištění součástky proti uvolnění a zároveň definuje její orientaci. Značení se provádí předvrtanou dírou kolmo na plošku šestihranu. Středící otvory umožňují přesné ustavení hnízda, popř. snadnou výměnu při změně velikosti testované součástky. Hmotnost hnízda dosahuje pouhých 212 g.



Obr. 19) Konstrukční návrh hnízda

Prívětivý design hnízda umožňuje obsluze snadné zakládání dílu. Výhodou použitého řešení je absence mechanického upínání součásti, což urychluje proces zakládání. Testovaný díl postačí pouze vložit do hnízda tak, aby lícovaly šestihrany hnízda a součástky. Vhodně

navržená tolerance umožňuje snadné zasunutí. Zároveň vůle mezi oběma součástkami nesmí být výrazně větší, to by mohlo komplikovat některé další operace.



Obr. 20) Založení testované součástky do hnízda

5.5 Návrh rotačního polohovací stolu

Pro zkrácení času polohování je žádoucí, aby přídatný talíř dosahoval nízké hmotnosti, proto je vyroben ze slitiny hliníku. Z fyzikálních vlastností navržené kruhové desky vyplývá hmotnost a moment setrvačnosti, tato charakteristika vstupuje do výpočtu v (rov. 3). Hliníková deska váží 6,4 kg. Na základě momentu setrvačnosti soustavy je určen vhodný typ polohovacího rotačního stolu od společnosti WEISS.

5.5.1 Výpočet momentu setrvačnosti soustavy

Celkový moment setrvačnosti soustavy působící na rotační polohovací stůl se skládá z kruhové desky a jednotlivých hnízd.

Moment setrvačnosti kruhové desky

$$I_{\text{deska}} = 0,1883 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Moment setrvačnosti hnízda

$$I_{\text{hnízda}} = m_{\text{hnízda}} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (2)$$

$$I_{\text{hnízda}} = 0,212 \cdot \left(\frac{0,4}{2}\right)^2 = 0,0085 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Kde: $I_{\text{hnízda}}$ – moment setrvačnosti hnízda [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

D – Těžiště hnízda na průměru [m]

$m_{\text{hnízda}}$ – Hmotnost hnízda [kg]

Výsledný moment setrvačnosti soustavy

$$I_{\text{výsledný}} = I_{\text{deska}} + 6 \cdot I_{\text{hnízda}} [\text{kg} \cdot \text{m}^2] \quad (3)$$

$$I_{\text{výsledný}} = 0,1883 + 6 \cdot 0,0085 = 0,2393 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

5.5.2 Rotační polohovací stůl WEISS TC 150 T

Na základě výpočtu výsledného momentu setrvačnosti z (rov. 3) je navržen rotační polohovací stůl. Dle katalogu od firmy WEISS [25] je vybrána vhodná velikost rotačního polohovacího stolu z řady TC. Výrobce doporučuje maximální vnější průměr rotační desky 880 mm.

Indexování		Úroveň rychlosti								2-stupňový		
		s	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
2	J_{2Max}	-	-	-	0.09	0.149	0.255	0.415	0.73	1.67	2.93	7.12
	t_i	-	-	-	0.43	0.53	0.66	0.81	1.03	1.47	1.88	2.76
3	J_{2Max}	-	-	-	0.14	0.23	0.39	0.63	1.1	2.53	4.43	10.7
	t_i	-	-	-	0.43	0.53	0.66	0.81	1.03	1.47	1.88	2.76
4	J_{2Max}	-	0.11 *	0.23	0.37	0.59	0.75	1.4	2.17	6.4	11.3	26.4
	t_i	-	0.25 *	0.32	0.39	0.47	0.59	0.73	0.93	1.33	1.69	2.49
6	J_{2Max}	0.155 *	0.26 *	0.53	0.8	1.29	1.69	3.15	4.9	13.9	24.3	59
	t_i	0.21 *	0.25 *	0.32	0.39	0.47	0.59	0.73	0.93	1.33	1.69	2.49
8	J_{2Max}	0.28 *	0.46 *	0.96	1.62	2.61	3.02	5.61	8.71	25.3	48.8	105
	t_i	0.21 *	0.25 *	0.32	0.39	0.47	0.59	0.73	0.93	1.33	1.69	2.49
10	J_{2Max}	0.44 *	0.72 *	1.42	2.14	3.45	4.72	8.80	13.5	36.8	61	132
	t_i	0.21 *	0.25 *	0.32	0.39	0.47	0.59	0.73	0.93	1.33	1.69	2.49
12	J_{2Max}	0.64 *	1.04 *	1.82	2.75	4.42	6.8	11.9	19.8	45.2	73.4	158
	t_i	0.21 *	0.25 *	0.32	0.39	0.47	0.59	0.73	0.93	1.33	1.69	2.49

Obr. 21) WEISS polohovací stůl TC 150 T – doba cyklu [25]

Kde: J_{2Max} – maximální přípustné zatížení setrvačnou hmotností [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$]

t_i – doba cyklu [s]

Levý sloupec na (Obr. 21) znázorňuje počet stanic. Maximální přípustné zatížení setrvačnou hmotností určuje úroveň rychlosti polohování „a“. Z výběru rotačního polohovacího stolu podle katalogu výrobce vyplývá doba potřebná k pootočení o jednu pozici 0,25 s. Další technické parametry rotačního polohovacího stolu WEISS TC 150 T lze vidět na (Obr. 22).

TECHNICKÁ DATA			ZAVEDENÁ DATA (pro statickou desku)		
U	Napájecí napětí:	230 / 400 V	T_{SP}	Povolený točivý moment:	140 Nm
f	Frekvence:	50 Hz	M_{TSP}	Povolený klopný moment:	200 Nm
	Přesnost indexování *:	Indexování 2-12: 60 arcsec ($\pm 30''$) Indexování 16-24: 90 arcsec ($\pm 45''$)	F_{ASP}	Povolená axiální síla:	3500 N
A_r	Axiální házení příruby pohonu:	(at Ø 150 mm) 0.01 mm	F_{RSP}	Povolená radiální síla:	2500 N
C_r	Soustřednost výstupní příruby:	0.01 mm	Kombinovaná zatížená a povolené procesní síly pouze po kontrole od WEISS.		
P	Rovnoběžnost mezi výstupní přírubou a montovanou deskou:	(at Ø 150 mm) 0.03 mm	ZAVEDENÁ DATA (pro výstupní přírubu)		
m	Celková hmotnost včetně motoru:	24 kg	T_{2stat}	Statický točivý moment:	150 Nm
D_i	Min. vnitřní průměr rotačního talíře:	80 mm	M_{2Tdyn}	Povolený dynamický klopný moment:	500 Nm
			F_{2Adyn}	Povolená dynamická axiální síla:	5500 N
			F_{2Rdyn}	Povolená dynamická radiální síla:	6000 N

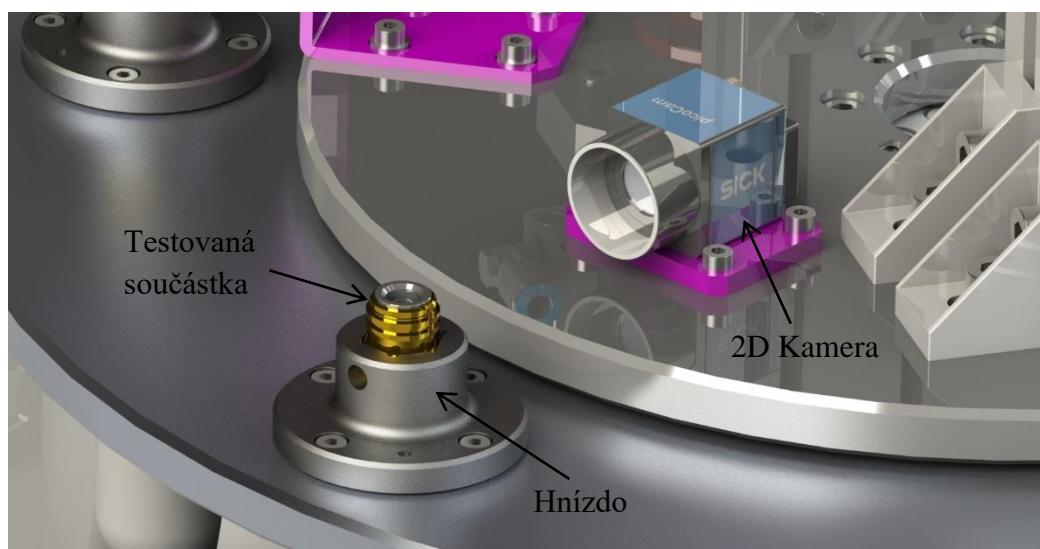
* Přesnost polohování lze na vyžádání vylepšit o 10 arcsec.

Obr. 22) Technické údaje – WEISS polohovací stůl TC 150 T [25]

5.6 Návrh stanice 1 – založení a kamerová kontrola

Na stanici 1 se provádí manuální zakládání součástky určené k testování. Detekci správného založení dílu zajišťuje průmyslová 2D kamera od společnosti SICK. Konkrétně je použita průmyslová 2D kamera picoCam2, kterou se zabývá teoretická část diplomové práce v kapitole (3.4.2) i s uvedením základních technických údajů.

Kamera umožňuje detekci hran, které se následně vyhodnocují a dochází ke kontrole správného založení. Je schopna detekovat nesprávné založení součástky, např. otočením o 180°, tuto skutečnost vyhodnotit a poslat informaci o neshodě do PLC řídicího systému. Výhoda detekce tvaru součástky spočívá v tom, že na začátku cyklu máme 100% jistotu, že se jedná o správný typ a velikost. Velikost součásti částečně definuje vnitřní šestihran hnízda, avšak mohlo by dojít k založení menšího dílu. Využití průmyslové 2D kamery je velice výhodné v případě, kdy lze jednoduše vyměnit hnízda a testovat různé velikosti součástek.

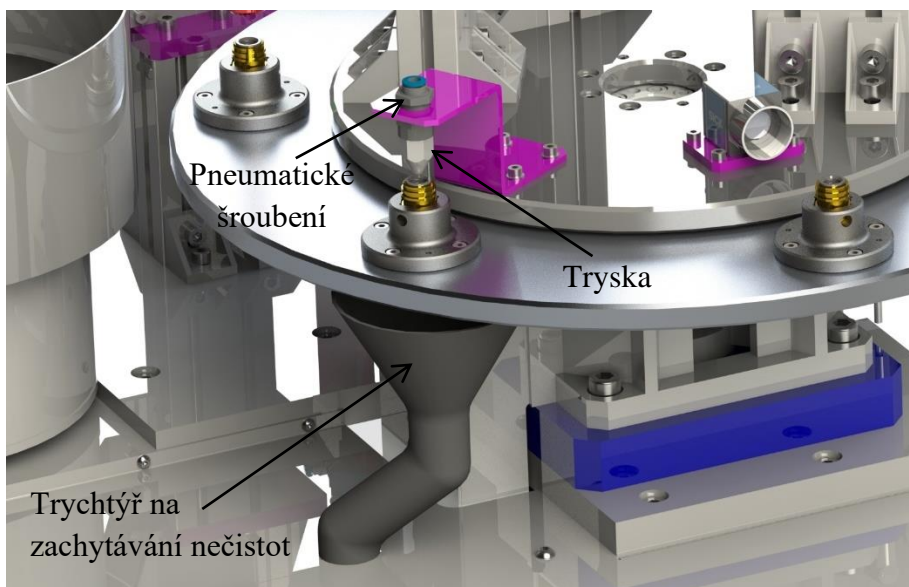


Obr. 23) Kontrola správného založení součástky

5.7 Návrh stanice 2 – vyčištění sítka

Na stanici 2 se čistí sítko, aby se zajistila čistota součástky před testovací operací. Zbavení součástky nečistot je řešeno pomocí trysky a přívodu stlačeného vzduchu. Fitinka se profoukne shora dolů z důvodu snadného sběru nečistot. Tryska o průměru 3 mm se našroubuje na pneumatické šroubení s nástrčným připojením na hadici. Šroubení se připevní k plechovému držáku.

Hnízdo a otočná deska jsou konstruovány s průchozím otvorem. Na spodní straně otočné desky se nachází trychtýř napojený na odsávání. Toto řešení umožňuje zachytávat otřepy a jiné nečistoty, aby nedošlo k jejich rozptýlení po stroji.

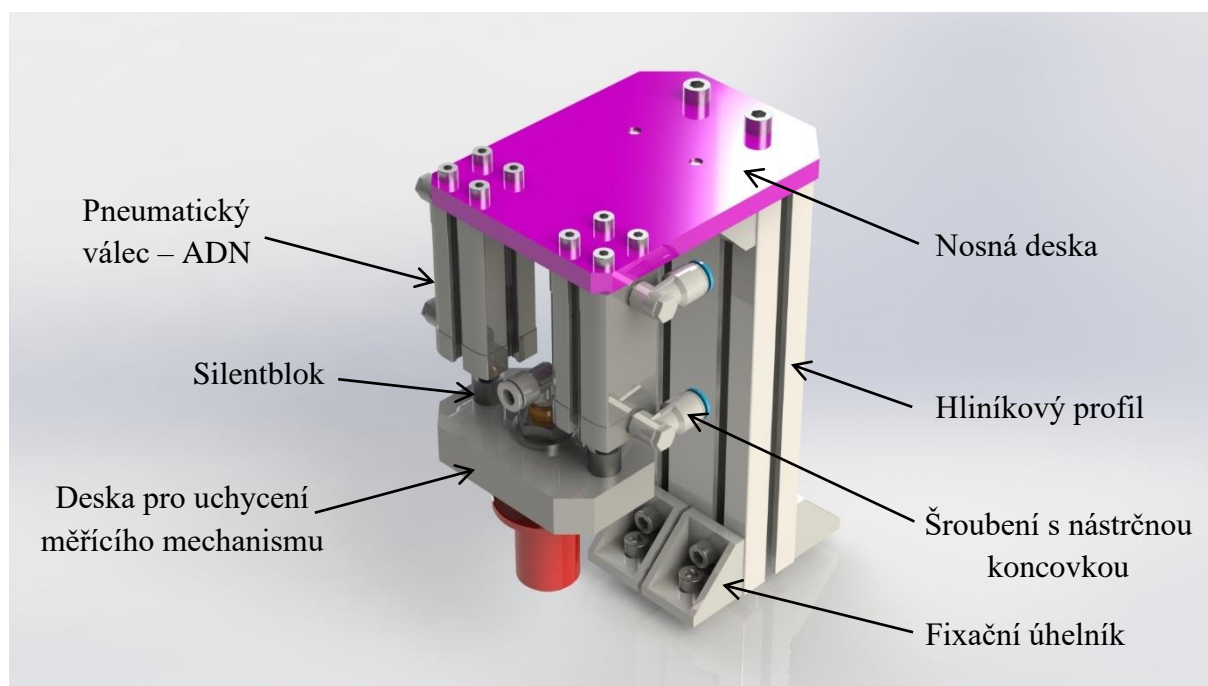


Obr. 24) Profouknutí součástky kvůli vyčištění sítka

5.8 Návrh stanice 3 – testování

Na stanici 3 se provádí nejdůležitější operace celé soustavy. Jedná se o samotné testování těsnosti pneumatického šroubení. Základní nosná část stanice se skládá z hliníkového profilu 30x60 mm od společnosti ALUTECKK, který je vyztužen fixačními úhelníky pro zajištění vyšší tuhosti a zejména stability. Pohyblivé válce se připevní na nosnou desku.

Deska pro uchycení testovacího mechanismu se upevní k oběma pneumatickým válcům přes válcové silentbloky s označením 1210 typ 5 – M5 MA/- (700160) od společnosti MATEZA. Tento prvek umožňuje kompenzaci nepřesností, zabraňuje nadměrnému zvyšování napětí mezi pneumatickými válci a tlumí případné rázy.



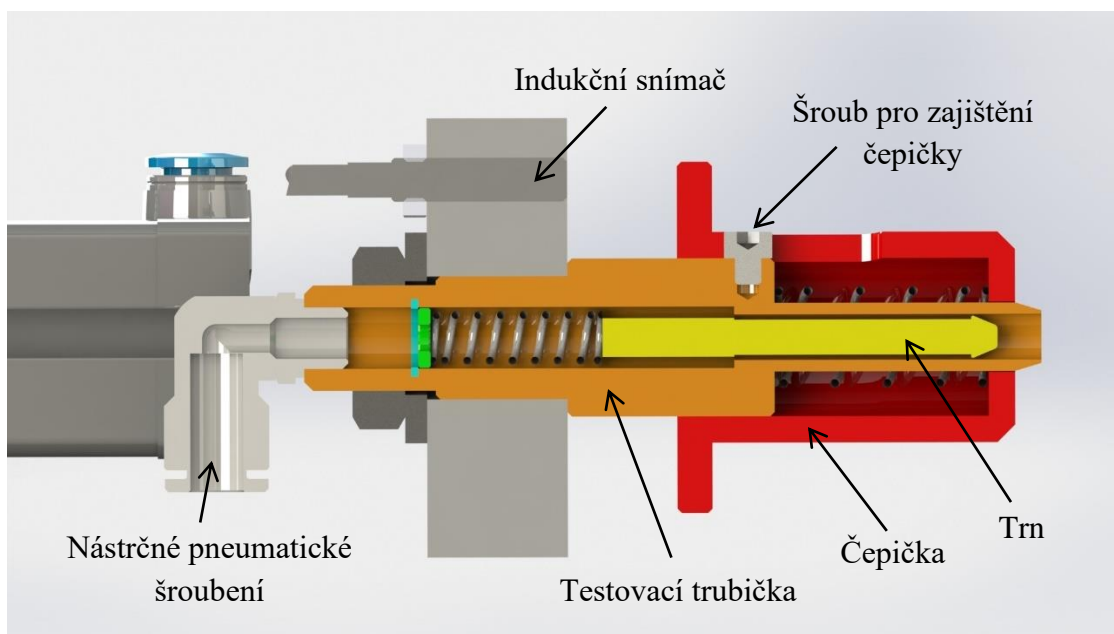
Obr. 25) Testovací stanice

Přísuv testovacího mechanismu zajišťují dva pneumatické válce ADN-12-30-A-P-A s vysunutím 30 mm. Podle katalogového listu společnosti FESTO vyvozuje jeden válec teoretickou sílu 68 N při tlaku 6 barů. Na oba válce potom připadá teoretická síla 136 N. Válce jsou vybaveny L-šroubeními s nástrčnými koncovkami s označením QSLV-M5-6. Stanice zahrnuje dva škrťací ventily s označením GRO-QS-6 pro regulaci rychlosti pohybu. V každé větvi se škrťací ventil umístí před Y-spojku s nástrčnými koncovkami označené QSMY-6. Y-spojka jednotně reguluje rychlosti obou pneumatických válců, jak znázorňuje pneumatické schéma na (Obr. 45). Konstrukční návrh testovací stanice je zobrazen na (Obr. 25).

5.8.1 Klidová poloha testovacího mechanismu

Základní prvek tvoří masivní deska, do které se uchytlí měřící mechanismus. Do základní desky se umístí indukční snímač IMM od společnosti SICK s označením IM05-0B8PS-ZW. Snímač detekuje čepičku v krajní poloze, kdy je měřící mechanismus zasunutý v testované součástce. Následně dává signál pro zahájení testování. Technická data použitého typu indukčního snímače stanovují snímací vzdálenost 0,8 mm. Výběr indukčního snímače byl proveden na základě analýzy z kapitoly (3.4). Indukční snímače detekují přítomnost kovových částí nebo objektů na malou vzdálenost.

Trn pro utěsnění Tube Supportu se předepne pružinou, která je zajištěna pojistným kroužkem. Pružina také předepne čepičku, kterou v klidovém stavu zajišťuje šroub proti uvolnění. Klidová poloha měřícího mechanismu je znázorněna v řezu na (Obr. 26).

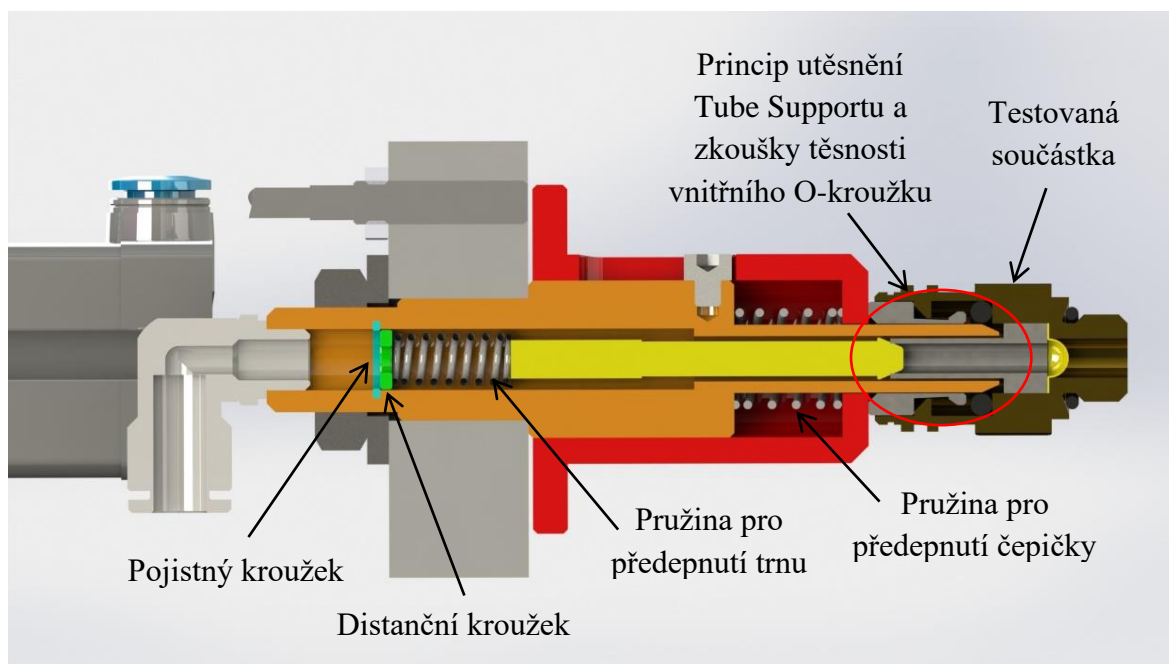


Obr. 26) Řez testovacím mechanismem v klidové poloze

5.8.2 Pracovní poloha testovacího mechanismu

Testovací mechanismus se nachází v pracovní poloze tehdy, pokud je testovací trubička zasunuta do fitinky, obě pružiny se stlačují a indukční snímač detekuje čepičku. Po vysunutí pneumatických válců dochází ke stlačení čepičky, která je předepnuta pružinou od společnosti SODEMANN s označením C04550391000M. Následně dochází k utěsnění Tube Supportu trnem, jehož předepnutí zajišťuje síla 30 N od pružiny s označením C02400350810M.

Funkce čepičky spočívá v přidržení kleštiny, aby nebránila testovací trubičce při odjíždění v momentě, kdy se dokončí test těsnosti vnitřního O-kroužku. Následně nesmí dojít k uvolnění fitinky z hnízda. Síla 30 N je dostatečná pro vysunutí trubičky s trnem z testované součástky.



Obr. 27) Řez testovacím mechanismem v pracovní pozici

Tlak z testovacího okruhu se přivádí přes nástrčné celokovové šroubení s označením NPQH-L-M7-Q6-P10. Dále se tlakuje prostor mezi vnitřním O-kroužkem a Tube Supportem, až dojde k ustálení tlaku.

Samotnou tlakovou zkoušku vyhodnocuje zařízení od společnosti ATEQ, které bylo zmíněno v teoretické části v kapitole (3.3.1). Zařízení disponuje různými režimy, lze nastavit délku měření a má velkou variabilitu ohledně komunikace s PLC. Samotné měření trvá po dobu necelých 10 s.

5.9 Návrh stanice 4 – nasazení plastové čepičky

Na stanici 4 se nasazuje plastová čepička na testovanou součástku. Součástí této stanice je manipulátor, vibrační zásobník, vibrační lineární pohon a oddělovač čepiček, který využívá pneumatický válec.

5.9.1 Varianty realizace manipulátoru

Při návrhu manipulátoru, který testovanou součástku osazuje čepičkou, byly zhodnoceny dvě základní varianty. První varianta spočívá v kompletní vlastní konstrukci manipulátoru. Druhá varianta nabízí využití manipulačního mechanismu.

První varianta je náročná na konstrukci jak z časového hlediska, tak z hlediska odborných znalostí konstruktéra. Vlastní konstrukce by zahrnovala více obráběných dílů, popř. ploch, což by celý proces zdražovalo. Návrh by obsahoval pneumatické válce a nákladnější lineární vedení, aby se zajistila dostatečná přesnost a tuhost.

Druhá varianta zahrnuje mnoho výhod. Konstruktor využije manipulační prvky od výrobce a podle svých požadavků si přizpůsobí velikosti pneumatických válců a pracovní rozsahy. Pro aplikace manipulátorů je výhodné použít pneumatické válce od společnosti FESTO s označením DGSL, které disponují vedením v podobě saní. Řešení pneumatického válce s vedením zaručuje vysokou přesnost, tuhost a úsporu místa. Výrobce k pneumatickým válcům DGSL nabízí spojovací prvky s různými kombinacemi sestavení, což zvyšuje možnosti použití a zajišťuje snadnou montáž. Pneumatické válce DGSL mají velký rozsah nastavení pracovních zdvihů díky přestavitelným dorazům, proto se hodí i do aplikací s možností přestavení manipulátoru pro více úloh. Významnou výhodou je použití normalizovaných dílů, které lze nastavit nebo při poruše jednoduše vyměnit, dále společnost nabízí zákaznický servis. Přehledný katalog výrobce srozumitelně navádí konstruktéra při návrhu manipulačního mechanismu.

Na základě předešlého srovnání byla vybrána varianta s manipulačním mechanismem.

5.9.2 Návrh manipulátoru 4

Požadavky na manipulátor 4:

- optimální uchopovací síla
- rozsah pracovního prostoru podle vytyčených požadavků
- vyvození potřebné síly pro nasazení čepičky
- rychlost a její regulace
- možnost seřízení krajních dorazů
- malý zástavbový prostor
- kompaktní jednoduché řešení.

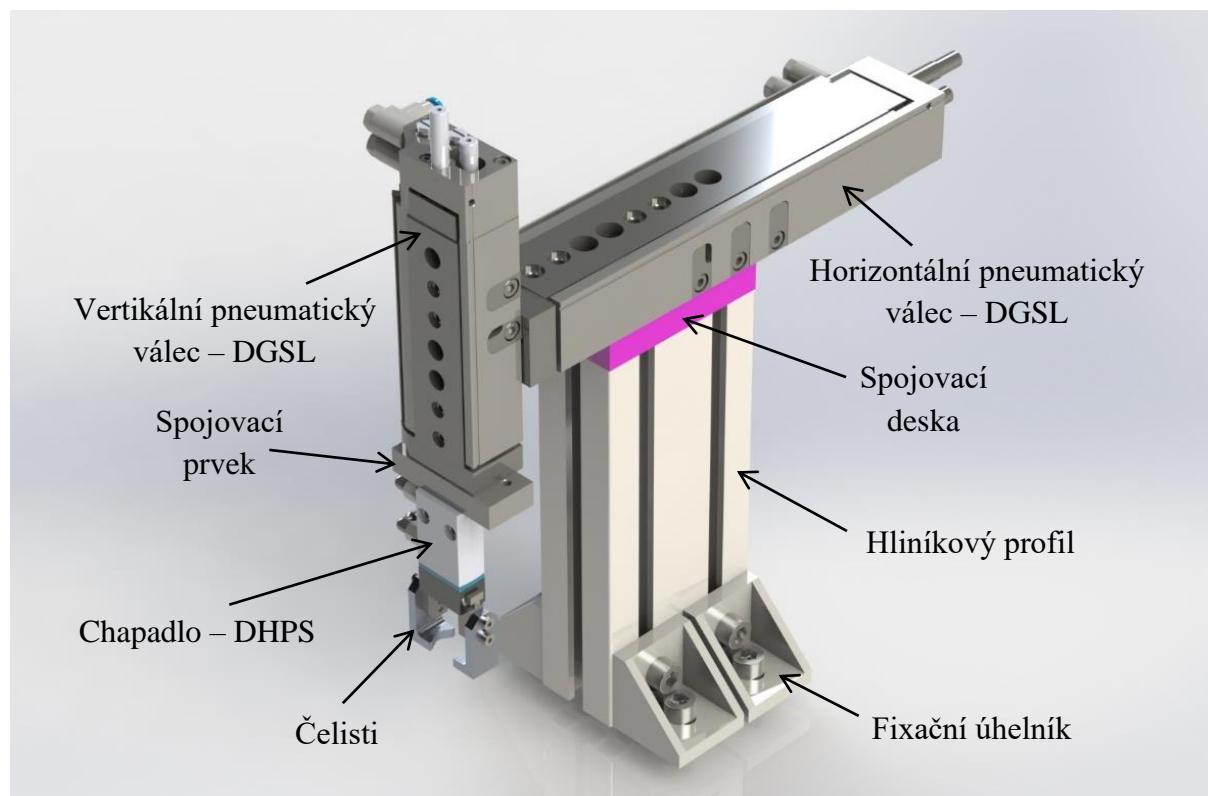
Nejprve se stanoví základní představa o pracovním prostoru, který musí být schopen manipulátor obsluhovat. Dalším kritériem je volba chapadla, který součástku musí bezpečně uchopit. Jelikož se jedná o malou a snadno deformovatelnou plastovou čepičku, důraz se klade na to, aby nedošlo k její deformaci. Síla překračující povolenou hodnotu úchopu čepičky chapadlem se stanovila experimentálně. Dalším důležitým parametrem je hodnota vysunutí pneumatického válce, aby dosáhl mimo hnízdo a rotační kruhovou desku do oddělovače čepiček. Tato hodnota byla stanovena na 80 mm již podle známých komponent. V neposlední řadě se požaduje schopnost vyvodit dostatečnou sílu vertikálního pneumatického válce pro zasunutí a zacvaknutí čepičky do drážek v mosazném těle součástky.

Návrh manipulátoru využívá komponentů od společnosti FESTO. Nejprve bylo zvoleno chapadlo s označením DHPS-6-A, které splňuje povolený rozsah uchopovací síly. Jedná se o nejmenší uchopovací chapadla od společnosti FESTO. Pro vertikální pohyb byl použit pneumatický válec s označením DGSL-6-30-PA a výsuvem 30 mm, tato vzdálenost dostačuje pro manipulaci s čepičkou a její nasazení. Síla potřebná pro nasazení čepičky byla testována v domácích podmínkách na osobní váze. Hodnota dosahovala 1,5 kg, což odpovídá 15 N. Pneumatický válec disponuje silou 30 N při vysouvání, tím se zaručí dostatečná rezerva pro nasazení čepičky na testovanou součástku. Chapadlo se na pneumatický válec namontuje pomocí adaptační sady s označením HMSV-531. Hlavní horizontální pohyb zajišťuje pneumatický válec s označením DGSL-8-80-Y3A a výsuvem 80 mm. Pneumatický válec je z důvodu většího pracovního rozsahu a setrvačnosti vybaven tlumičem nárazu s progresivní

charakteristikou na obou stranách. Vedení je uloženo v kuličkových šroubech. Oba pneumatické válce jsou vybaveny škrťacími ventily pro regulaci rychlosti polohování.

Manipulátor znázorněný na (Obr. 28) se uchytí pomocí mezikusu k hliníkovému profilu 30x60 mm a upevní se ke statické desce fixačními úhelníky s drážkami pro seřízení manipulátoru do osy hnízda.

Chapadla jsou konstruována ze slitiny hliníku, díky tomu se zajistí jejich nízká hmotnost. Tvar chapadel odpovídá uchopovanému průměru čepičky, úhel otevření je navržen na hodnotu 120°. Chapadla se k čelistem uchytí imbusovými šrouby a vystředí se středícími kolíky.



Obr. 28) Manipulátor určený k nasazování čepičky

5.9.3 Volba vibračního zásobníku a vibračního lineárního pohonu

Požadavky na vibrační zásobník:

- velikost zásobníku, aby dokázal zásobovat manipulátor čepičkami po dobu až 3 hodin
- malé zástavbové rozměry
- spolehlivá orientace dílů
- mírné vibrace přenášené do základního rámu stroje
- nízká hlučnost.

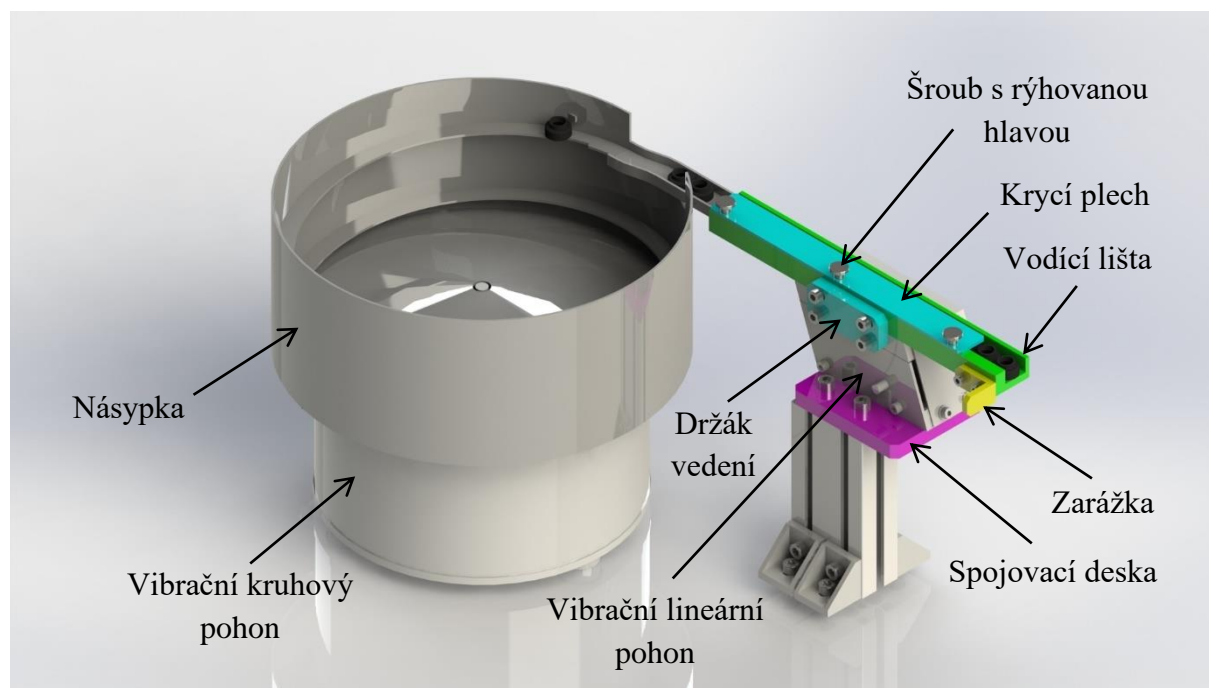
Vibrační zásobníky slouží k podávání a orientaci dílů do jednotné polohy před jejich dalším zpracováním. Vibrační podavače přímočaré zajišťují dopravu zorientovaných dílů z kruhového zásobníku do místa odběru nebo montáže. Vibrační pohon kruhový tvoří základová a nosná deska, soustava pružin, elektromagnetický budič a silentbloky. Násypka se upíná středovým šroubem. Tím se umožní natočení násypky o 360° kolem osy vibrační

jednotky. K řízení výkonu vibračních pohonů kruhových slouží plynulé elektronické regulace např. typ DIGR. Vibrační pohony mohou přenášet mírné vibrace do základu stroje. [26]

Sestava zahrnující vibrační kruhový pohon, násypku a vibrační lineární pohon je navržena od českého dodavatele, konkrétně od společnosti Vondra a Vondra. Na základě rozboru nabízeného sortimentu společnosti s ohledem na tvar čepiček, kterými se zásobník plní, byly vybrány základní nabízené komponenty.

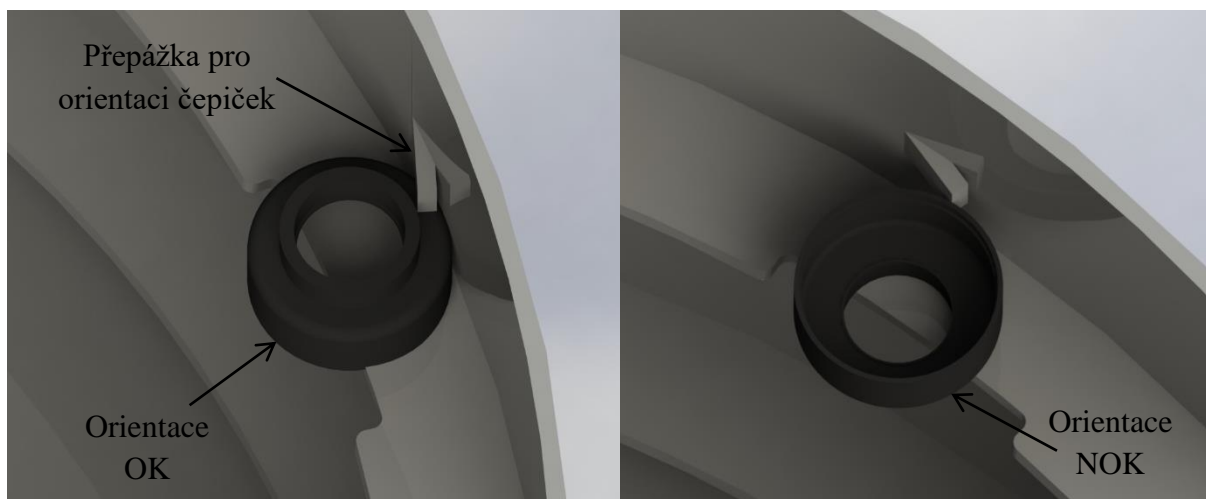
Násypka s označením NV250 byla zvolena na základě stanovených požadavků, aby vibrační zásobník umožňoval dodávku čepiček pro manipulátor po dobu až 3 hodin. Tato doba se stanovila pomocí zjednodušeného výpočtu. Přesné množství a způsob orientace dílů se v technické praxi určuje v rámci konzultace s dodavatelem.

K násypce NV250 dodavatel doporučuje použití vibračního kruhového pohonu s označením VZ/C-200. Následně byl vybrán lineární vibrační pohon s označením VZP/A-50, který umožňuje maximální délku vodící lišty 350 mm. Zkonstruovaná vodící lišta pro JÚS dosahuje délky 240 mm. Sestava vibračního zásobníku s vibračním lineárním pohonem je zobrazena na (Obr. 29).



Obr. 29) Vibrační zásobník s vibračním lineárním pohonem

Do násypky se zabudovávají orientační a výstupní prvky, které zaručují orientaci podávaných dílů do jednotné výstupní polohy. Princip orientace čepiček pomocí přepážky je znázorněn na (Obr. 30).

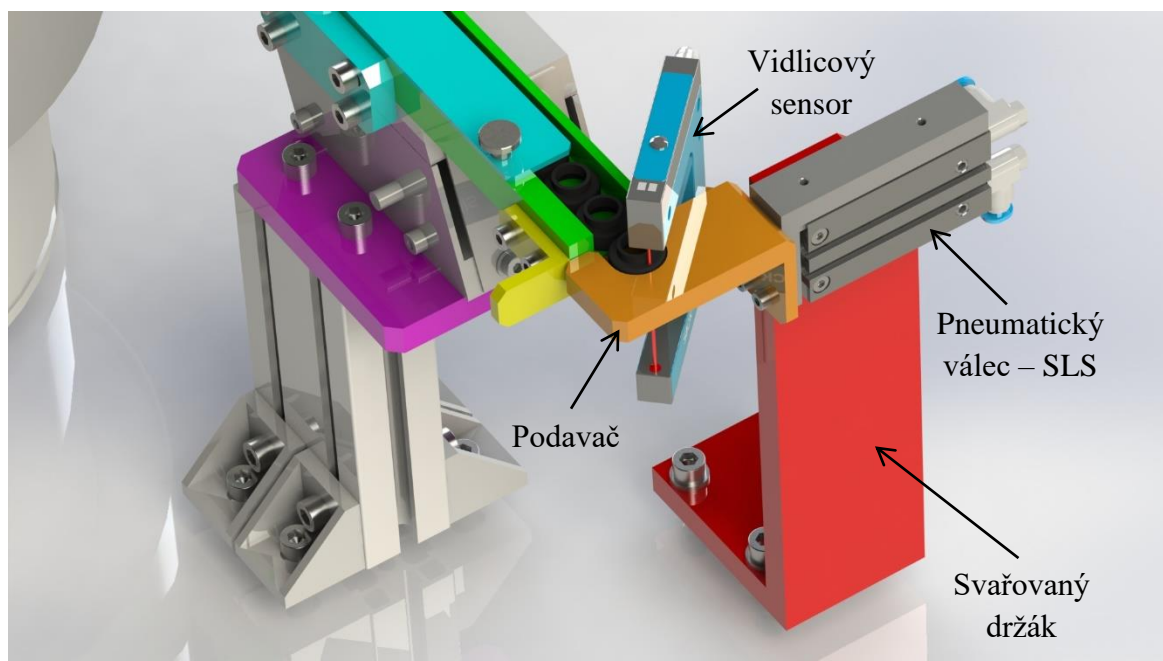


Obr. 30) Ukázka orientace čepiček

5.9.4 Oddělovač čepiček

Pneumatický válec s označením SLS-6-30-P-A a vysunutím 30 mm se stará o oddělení čepiček z důvodu výhodnějšího odebrání manipulátorem, který je vyobrazen na (Obr. 28). Pokud by nedošlo k oddělení dílu od vibračního lineárního posuvu, docházelo by k natlačování ostatních dílů na ten původní. Při přímém odebrání manipulátorem prvního dílu by docházelo k nadzvednutí toho následujícího. Proto se běžně využívá oddělení, buď horizontálně stranou nebo vertikálně nahoru. Pneumatický válec se vybaví škrticími ventily s označením GRLA-M5-QS-3-LF-C.

Vidlicový snímač WF s označením WF50-40B41CA00 detekuje přítomnost čepičky, následně přes PLC řídicí systém dává pokyn k vysunutí pneumatického válce. Ostatní čepičky se opřou o plochu oddělovače. Vidlicový snímač se uchytlí na plechový díl. Celý systém oddělování dílů se upevní svařovaným držákem. Princip oddělování čepiček, které se dopravují vibračním lineárním pohonem, je znázorněn na (Obr. 31).



Obr. 31) Oddělovač čepiček

5.10 Návrh stanice 5 – test přítomnosti sítko a oražení pneumatického šroubení

Na stanici 5 se provádí test přítomnosti sítko v pneumatickém šroubení, které lze vidět na (Obr. 17). Současně je fitinka oražena na plošku šestihranu. Tato značka udává, že součástka prošla testem na těsnost vnitřního O-kroužku.

5.10.1 Varianty použití senzorů pro detekci sítko

Přítomnost sítko lze řešit několika způsoby. V této části jsou uvedeny dvě varianty, porovnány a následně vyhodnoceny. První varianta pro detekci sítko využívá optoelektronický snímač, který se upevní na držák ohýbaného plechu. Varianta s optoelektronickým snímačem je velice jednoduchá z konstrukčního hlediska. Druhá varianta využívá indukční snímač. Celý měřicí mechanismus se ovládá pneumatickým válcem, který umožňuje zasunutí trnu do součástky. Trn se předepe jemnou pružinkou a po kontaktu trnu se sítkem dochází ke zmáčknutí pružinky. Následně indukční snímač detekuje přiblížení kovového trnu, což znázorňuje přítomnost sítko.

Varianta s optoelektronickým snímačem

- + jednoduchá konstrukce
- + cenově výhodnější oproti variantě s indukčním snímačem
- + jednoduchá aplikace
- + snadné seřízení snímače
- spolehlivost detekce sítko
- nároky kladené na osvětlení
- nároky kladené na odrazovou plochu sítko

Varianta s indukčním snímačem

- + spolehlivost detekce sítko
- + nevyžaduje nároky na osvětlení oproti variantě s optoelektronickým snímačem
- + nevyžaduje nároky spojené s detekovaným povrchem oproti variantě s optoelektronickým snímačem
- náročná konstrukce
- vyšší cena oproti variantě s optoelektronickým snímačem

5.10.2 Výběr senzoru pro detekci sítko

Byla vybrána varianta s použitím optoelektronického snímače pro detekci sítko. Mezi hlavní kritéria patří konstrukční náročnost a cena. Spolehlivost detekce sítko vychází lépe u varianty s indukčním snímačem. Na základě záporných hodnocení u optoelektronického snímače, které udávají zejména světelné podmínky a schopnost odrazu optického paprsku od sítko, bylo nutné ověřit schopnost a spolehlivost optoelektronického snímače detekovat sítko v úzkém průchodu součástkou. Po telefonické konzultaci s obchodním zástupcem společnosti SICK byla ověřena informace, že optoelektronický snímač je schopen sítko detekovat. Problém však mohl nastat v úzkém průchodu součástkou, poněvadž snímač má vysílač a přijímač na jedné straně. Proto se zde musí nacházet potřebný prostor pro návrat odraženého paprsku. Obchodní zástupce doporučil miniaturní optoelektronický snímač W2 Flat s tím, že je schopen při správném seřízení sítko spolehlivě detekovat.

Na základě získaných informací se pro detekci sítky vybral miniaturní optoelektronický snímač W2 Flat s označením WT2F-P480. Snímač se vyznačuje zejména svými malými rozměry a přijatelnou cenou. Je schopen detekovat předměty v úzkých prostorách díky malé vzdálenosti přijímače od vysílače optického paprsku. Aby se mohl odražený paprsek bezpečně vrátit do přijímače, musí být sensor ve vzdálenosti minimálně 70 mm od detekovaného sítky. Snímače se namontuje pomocí šroubků k ohýbanému plechovému držáku. Použitý snímač znázorňuje (Obr. 32).



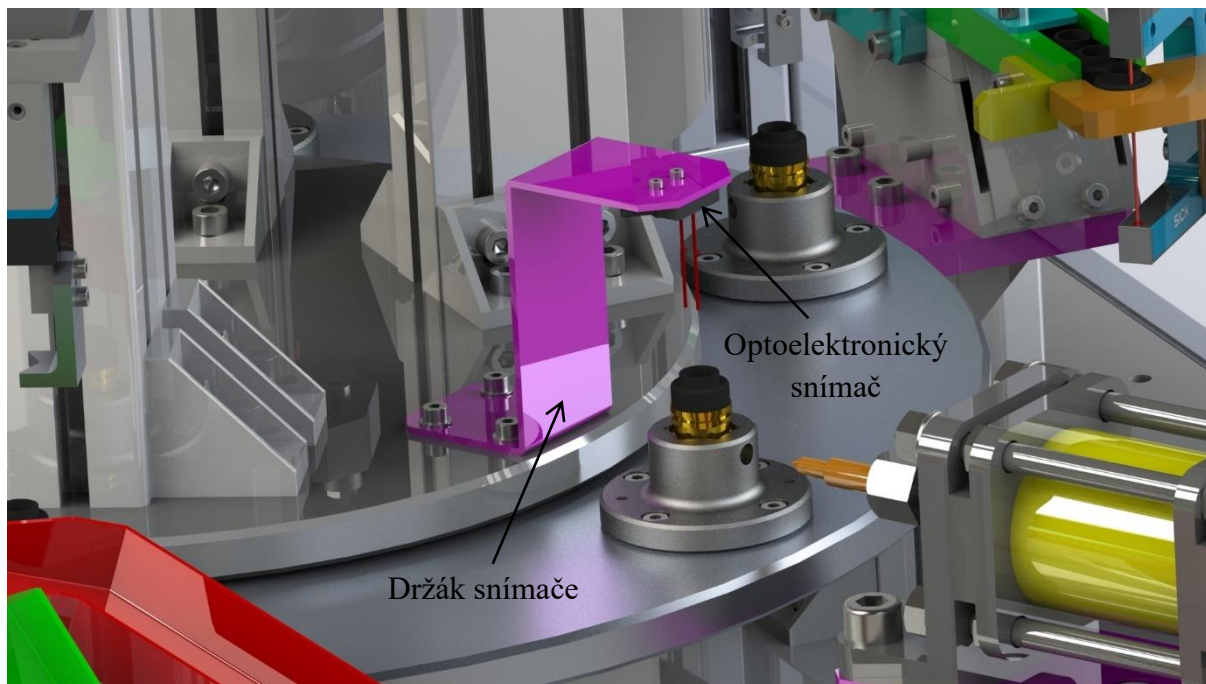
Obr. 32) Sensor W2 Flat [27]

V (Tab. 11) se uvádí základní přehled technických údajů o snímači. Podrobné informace o snímači lze dohledat na webových stránkách výrobce.

Tab 11) Technické údaje – snímač WT2F-P480 [27]

Princip senzoru/detekce	Reflexní světelný snímač, Energeticky
Rozměry (Š x V x H)	14 mm x 19,5 mm x 3,5 mm
Provedení pouzdra (výstup světla)	Ve tvaru kvádru
Snímací vzdálenost max.	4 mm až 115 mm
Zaostření	100 mm
Druh světla	Viditelné červené světlo
Vysílač světla	LED dioda
Vlnová délka	650 nm
Nastavení	žádné
Napájecí napětí	12 V DC až 24 V DC
Způsob spínání	Spínání na světlo
Hmotnost	20 g
Stupeň krytí	IP67

Ohnutý plechový díl se vybaví seřizovacími drážkami. Jemné seřízení se provádí pomocí drážky přímo na sensoru. Uchycení optoelektronického snímače pro detekci sítka znázorňuje (Obr. 33).



Obr. 33) Uchycení sensoru určeného pro detekci sítka

5.10.3 Návrh pneumatické úderové jednotky

Požadavky na pneumatickou úderovou jednotku:

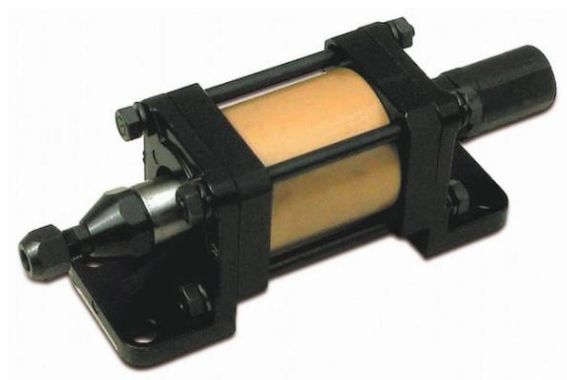
- minimální požadovaná energie razníku 0,22 J (hodnota zjištěna experimentálně v domácích podmínkách)
- možnost nastavení úderové síly
- minimální velikost jednotky.

Pneumatické úderové mechanismy se vyrábí ve třech verzích podle požadované úderové síly 6 kN, 35 kN nebo 75 kN. Pneumatické úderové stroje se vyznačují velmi kompaktními rozměry, jsou velice vhodné pro začlenění do automatických linek nebo jednoúčelových strojů. Lze je montovat do libovolné polohy. K válcům se také dodávají dvě upevňovací konzole.

Všechny stroje mají tyto vlastnosti:

- díky efektivnímu předepnutí není materiál deformován a nedochází k tzv. dvojitému značení
- maximální citlivost a přesnost
- dosažení opakovatelnosti hloubky značení
- přesné nastavení síly úderu od 0 kN až k dovolenému maximu
- široké spektrum příslušenství
- možnost začlenění do výrobní linky
- lze použít také pro nýtování, montování, vysekávání nebo děrování. [28]

Oražení součástky na plošku šestihranu se provádí pomocí pneumatické úderové jednotky s označením MB19VP, což je produkt firmy Automator. Jedná se o nejmenší nabízenou verzi, kterou zobrazuje (Obr. 34).



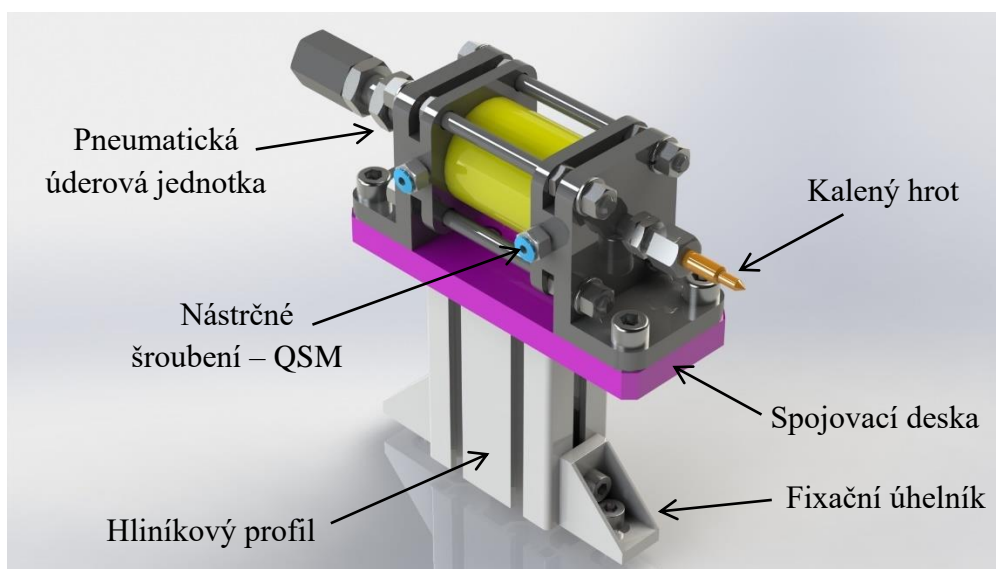
Obr. 34) Pneumatická úderová jednotka [28]

Technická data:

	MB 19VP	MB 21VP	MB 35VP
Úderná síla	600 kg (6 kN)	3500 kg (35 kN)	7500 kg (75 kN)
Hmotnost	2 kg	10 kg	38 kg
Šroubení pro přívod vzduchu	1/8	1/4	3/8
Rozměry vrtání upínače	ø 6 x 30 mm (8x32)	ø 10 x 38 mm	ø 16 x 48 mm
Celkový zdvih úderníku	32 mm	67 mm	110 mm
Zdvih úderníku naprázdno	8 mm	18 mm	25 mm
Pracovní zdvih	0-24 mm	0-49 mm	0-85 mm
Tlak vzduchu	4 bar	6 bar	6 bar
Spotřeba vzduchu na úder	0,5 l	2,3 l	5,4 l

Obr. 35) Technické údaje – pneumatický úderník [28]

Uchycení pneumatické úderové jednotky se provede pomocí mezikusu připevněného k hliníkovému profilu 40x80 mm, který se vyztuží fixačními úhelníky. Na konci úderníku se uchyť kalený trn, který je navržen tak, aby prošel předvrtaným otvorem v hníždě. Přívod vzduchu se zajistí přes nástrčné šroubení s označením QSM-G1/8-4 od společnosti FESTO. Celkovou sestavu montáže pneumatické úderové jednotky zobrazuje (Obr. 36).



Obr. 36) Montáž pneumatické úderové jednotky

5.11 Návrh stanice 6 – dělení na OK a NOK součástky

Manipulátor na stanici 6 je koncipován na základě zkušenosti při konstrukci manipulátoru v kapitolách (5.9.1) a (5.9.2). Manipulátor určený k třídění testovaných součástek na shodné (OK) a neshodné (NOK) má větší rozměry v porovnání s manipulátorem na nasazování čepiček. Důvodem použití větších komponentů je požadavek na větší manipulační rozsah.

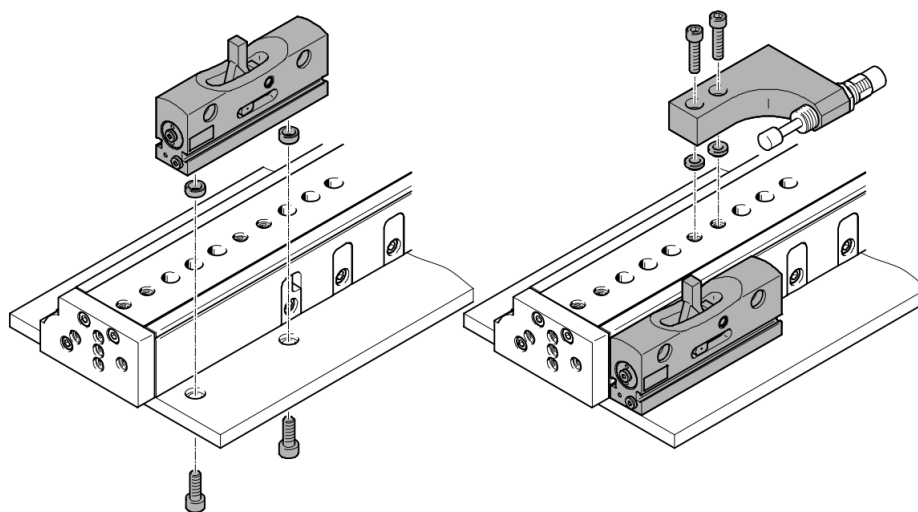
5.11.1 Návrh manipulátoru 6

Požadavky na manipulátor 6:

- přítomnost mezipolohy
- optimální uchopovací síla
- rozsah pracovního prostoru podle vytyčených požadavků
- rychlost a její regulace
- možnost seřízení krajních dorazů
- malý zástavbový prostor
- kompaktní jednoduché řešení.

Manipulátor se dvěma polohami třídí součástky na shodné a neshodné podle vyhovujících podmínek stanovených při zkoušce těsnosti. Pneumatický válec uložený v horizontální poloze uchopuje součástku na pozici $x = 0$ mm. Na pozici $x = 60$ mm se nachází skluz pro NOK součástky. Na pozici $x = 100$ mm manipulátor odkládá OK součástky.

Pro návrh manipulátoru se zdálo nejvýhodnější použít komponenty od společnosti FESTO. Nejprve byl navržen pneumatický válec s označením DGSL-12-100-Y3A s požadovaným výsuvem 100 mm. Pneumatický válec obsahuje modul mezipolohy s označením DADM-EP-G6-10 s opakovatelnou přesností 0,02 mm. Modul mezipolohy umožňuje u pneumatických pohonů nastavit v rámci zdvihu další polohu. Modul se upevňuje samostatně přímo vedle saní Mini. Na pohyblivý díl pohonu (např. saně) se namontuje tlumič nárazu, aby při vyjetí narážel na dorazovou páku modulu mezipolohy. Tlumičem mezipolohy lze přesně seřídit polohu. Na pneumatický válec se upevní držák s označením DADP-ES-G6-12, ve kterém se uchytlí tlumič s označením DYEF-M10-Y1F. Detailní montáž modulu mezipolohy zobrazuje (Obr. 37).

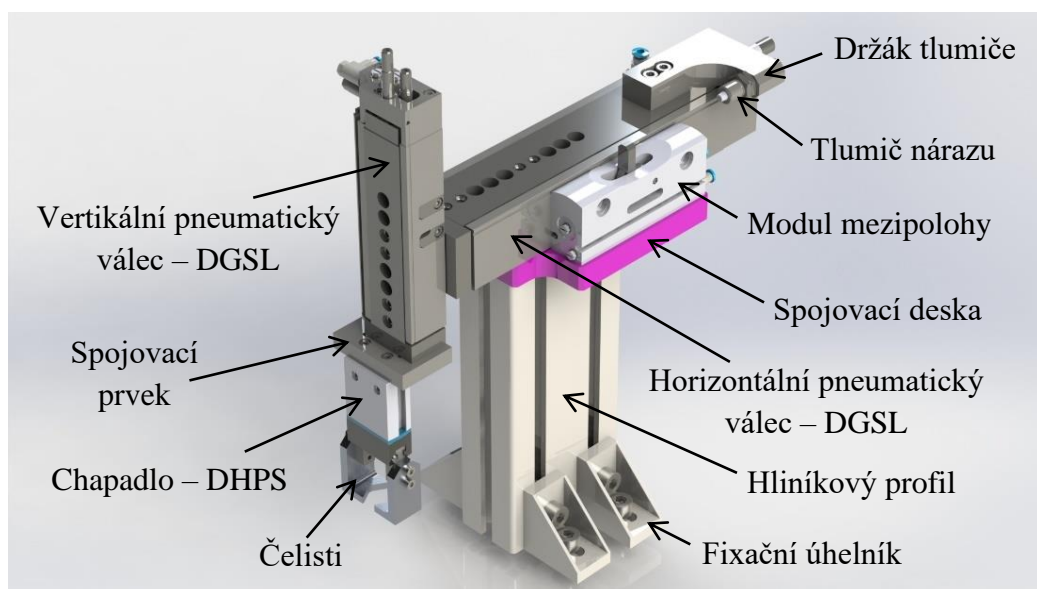


Obr. 37) Montáž modulu mezipolohy

Podle katalogu výrobce byl na vertikální pohyb použit kompatibilní pneumatický válec s označením DGSL-8-50-Y3A a výsuvem 50 mm. Pracovní rozsah 50 mm zaručuje bezpečné vyjmutí testované součástky z hnízda. Na svislý pneumatický válec se namontuje chapadlo s označením DHPS-10-A pomocí adaptační sady s označením HMSV-54. Pneumatické válce obsahují z důvodu většího pracovního rozsahu a setrvačnosti tlumiče nárazu s progresivní charakteristikou na obou stranách. Vedení je uloženo v kuličkových šroubech. Oba pneumatické válce jsou vybaveny škrtícími ventily pro regulaci rychlosti polohování.

Manipulátor zobrazený na (Obr. 38) se uchytí pomocí mezikusu k hliníkovému profilu 40x80 mm a upevní se ke statické desce fixačními úhelníky s drážkami pro seřízení manipulátoru do osy hnízda.

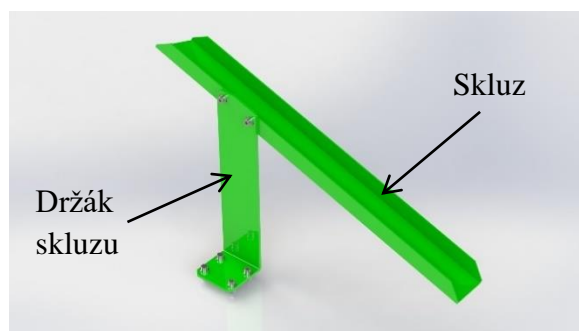
Chapadla jsou konstruována ze slitiny hliníku, které lze podle potřeby pogumovat, aby nedocházelo k poškrábání testované součástky. Tvar chapadel odpovídá uchopovanému průměru součástky, úhel otevření je navržen na hodnotu 120°. Chapadla se k čelistem uchytí imbusovými šrouby a vystředí se středícími kolíky.



Obr. 38) Manipulátor s mezipolohou

5.11.2 Návrh gravitačního skluzu

Gravitační skluz je důležitým prvkem na stanici 6. Slouží pro dopravu testovaných dílů do přepravek, které se nachází na stole mimo stroj. Skluz se skládá ze dvou plechových dílů, držák zahrnuje drážky pro přesné nastavení. Konstrukci skluzu zobrazuje (Obr. 39).



Obr. 39) Konstrukce gravitačního skluzu

5.12 Hlavní rám stroje

Požadavky na rám stroje:

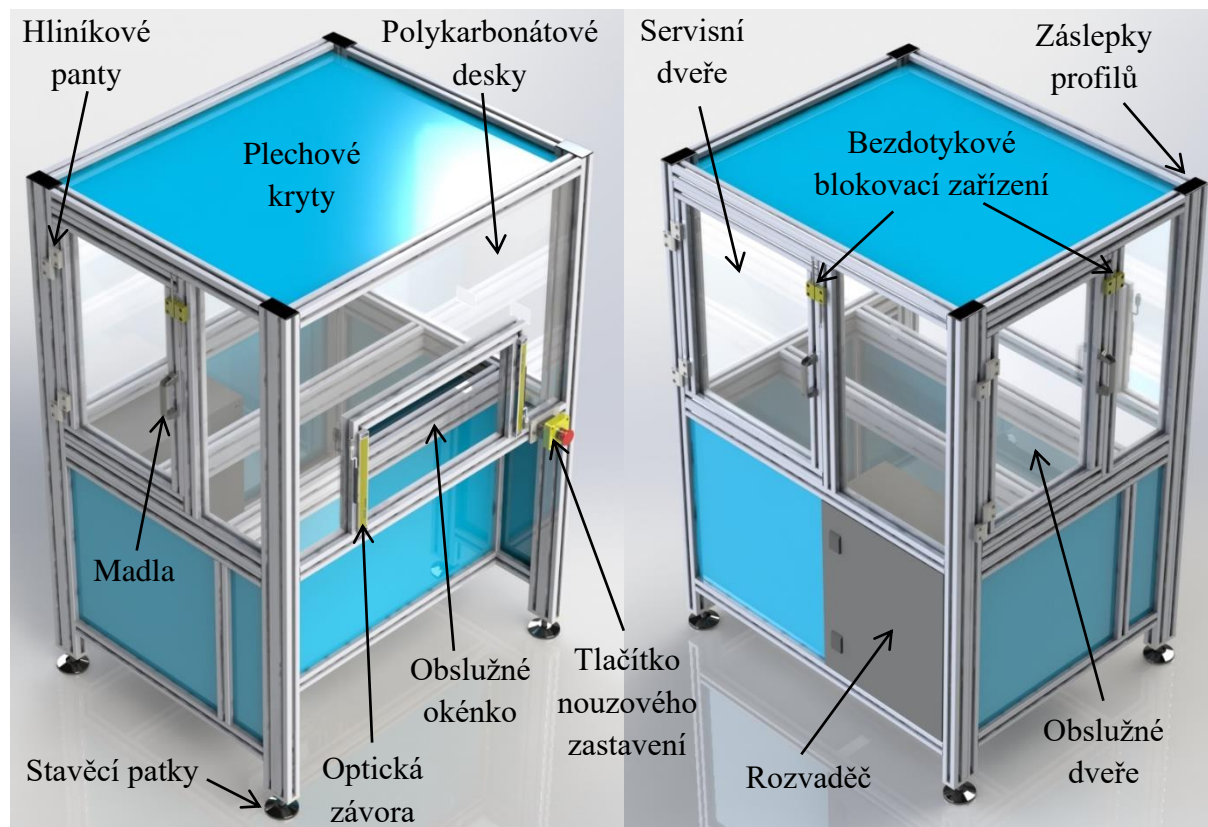
- krytování a bezpečnost
- variabilita řešení
- snadná montáž.

Konstrukce rámu stroje se skládá z hliníkových profilů 40x80 mm od společnosti Aluteck. Hliníkové profily obsahují specifické drážky, díky kterým lze jednotlivé části snadno spojovat, popř. montovat různá příslušenství. Společnost k profilům dále nabízí stavěcí patky, matice s pružinou, madla, panty, polykarbonátové desky, gumy pro jejich utěsnění a záslepky.

Kostra rámu obsahuje okénko pro ruční zakládání testovaných dílů, které se zabezpečí optickou závorou. Dále jsou pomocí již zmíněných komponentů navrženy obslužné a servisní dveře. Obsluha při výkonu práce sedí, proto musí být rám stroje vybaven volným prostorem pro nohy.

Ve spodní části se umístí elektrický rozvaděč a komponenty pro ovládání pneumatických válců. Dále se zde nachází odsávací zařízení pro stanici 2. Spodní část se kompletně zakryje plechy.

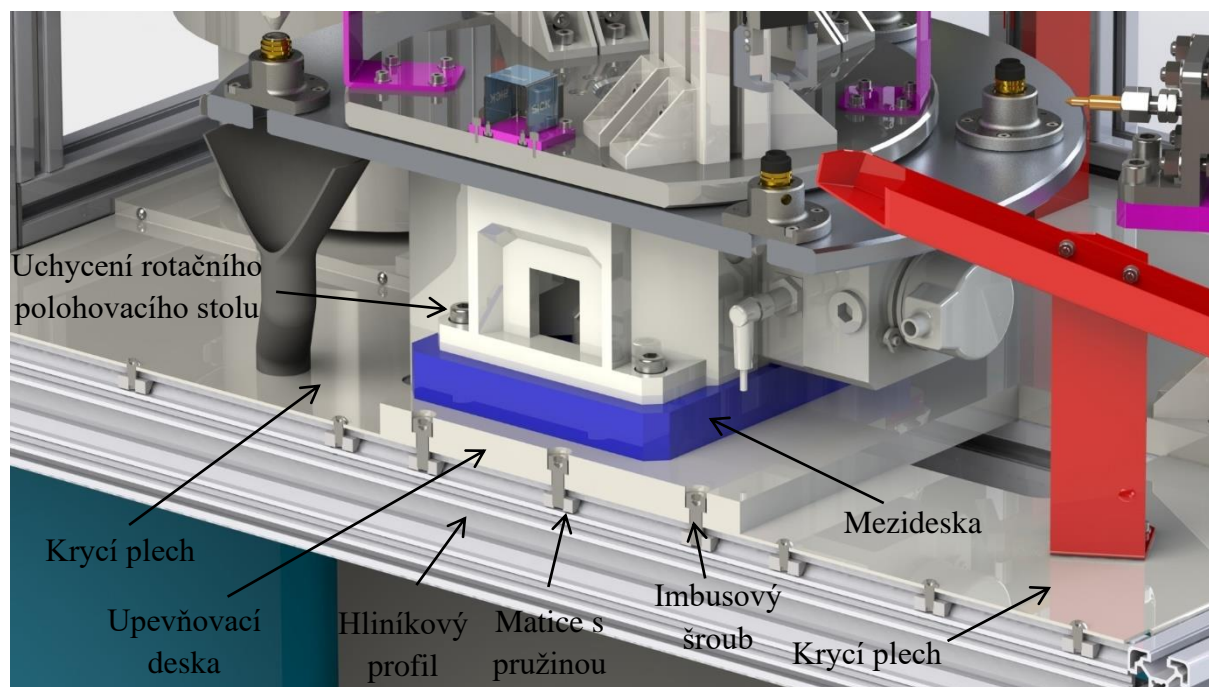
Horní část stroje se zakryje průhlednými polykarbonátovými deskami. Dveře se vybaví bezdotykovým bezpečnostním zařízením. Na rám stroje se připevní bezpečnostní tlačítko (Total Stop), které v případě nouze stroj okamžitě uvede do klidového stavu. Informaci o aktuálním provozním stavu stroje dává signalizační věž umístěná v horní části. Hlavní rám stroje zobrazuje (Obr. 40).



Obr. 40) Hlavní rám stroje

5.13 Upevnění rotačního polohovacího stolu k hlavnímu rámu stroje

Upevňovací deska se uchytí přes matice s pružinou do drážek dvou hliníkových profilů po obou stranách rotačního polohovacího stolu a pomocí úhelníků, které se připevní ke spodní části desky, lze vidět na (Obr. 44). Mezideska slouží k vyvýšení rotačního polohovacího stolu pro zajištění shodné výšky hnízd s výškou místa na výstupu čepiček z vibračního zásobníku na stanici 4. Kompletní uložení stolu znázorňuje (Obr. 41).



Obr. 41) Upevnění rotačního polohovací stolu

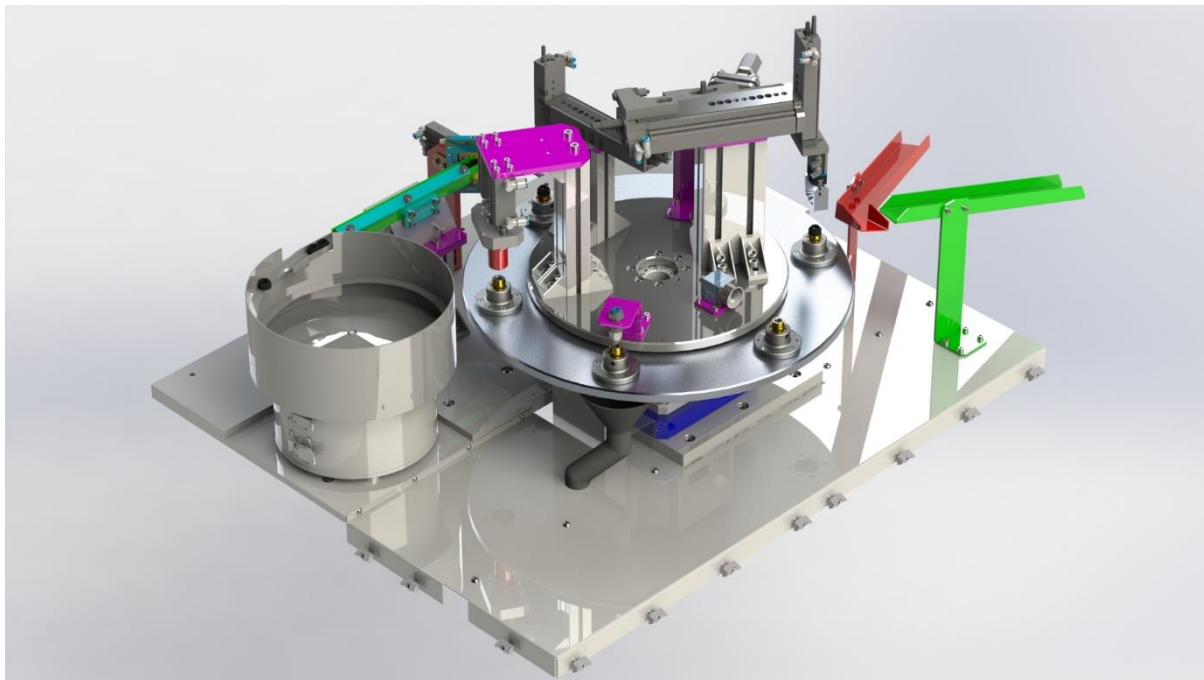
5.14 Vizualizace JÚS



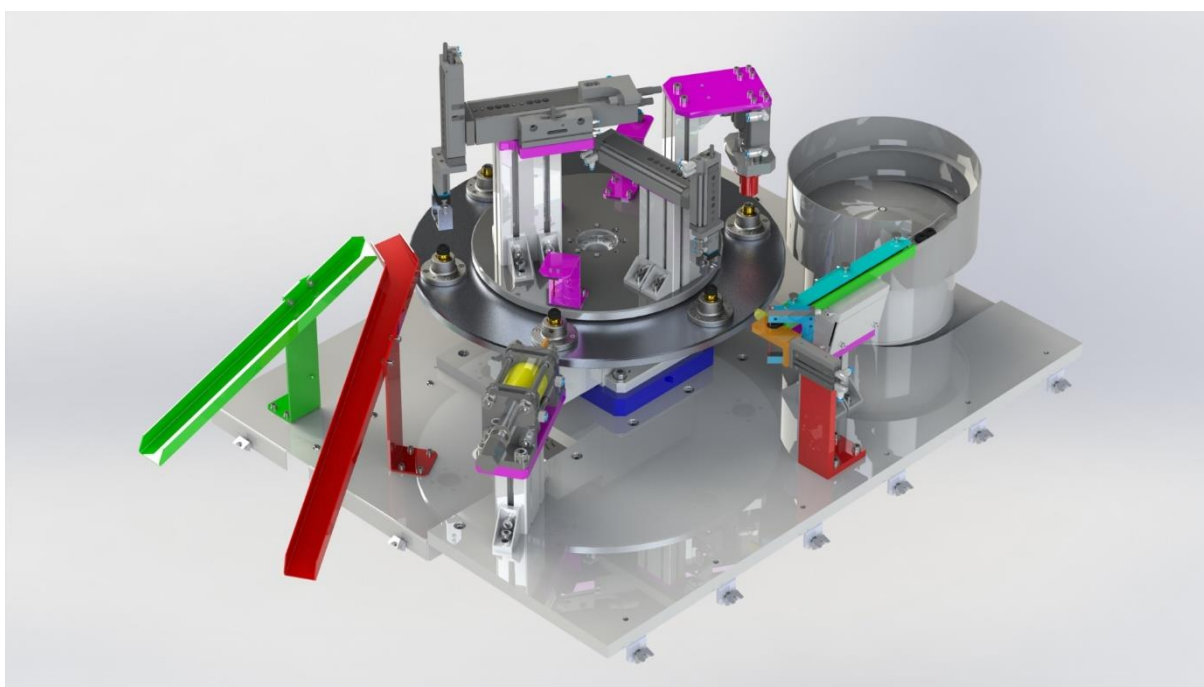
Obr. 42) Vizualizace JÚS

Výslednou vizualizaci konstrukčního řešení jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení zobrazuje (Obr. 42). Stroj se zakrytuje a vybaví bezpečnostními prvky. Součástí vizualizace je umístění stolu s přepravkami pro shodné a neshodné testované díly.

5.14.1 Detailní pohled na JÚS



Obr. 43) Detailní pohled na přední část stroje

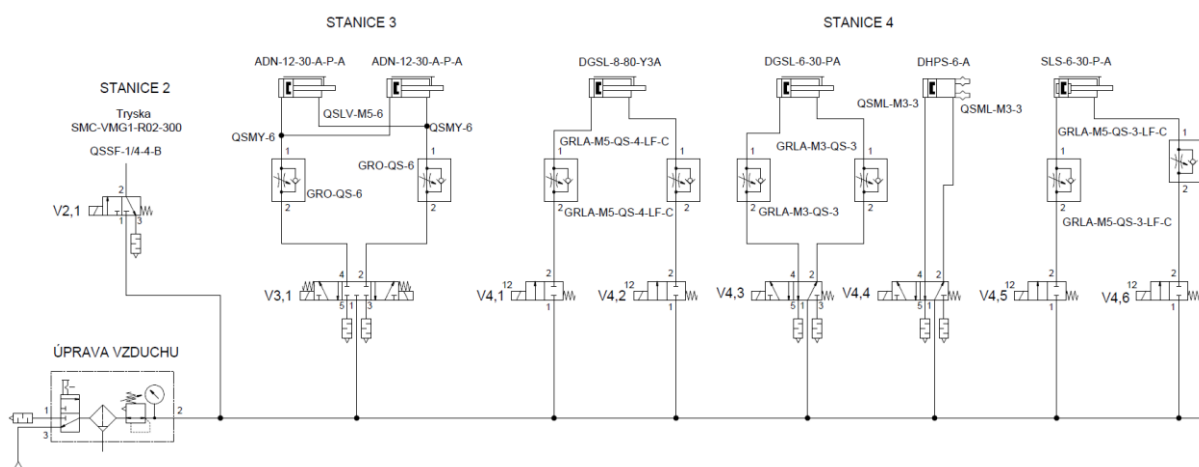


Obr. 44) Detailní pohled na zadní část stroje

5.15 Pneumatický obvod

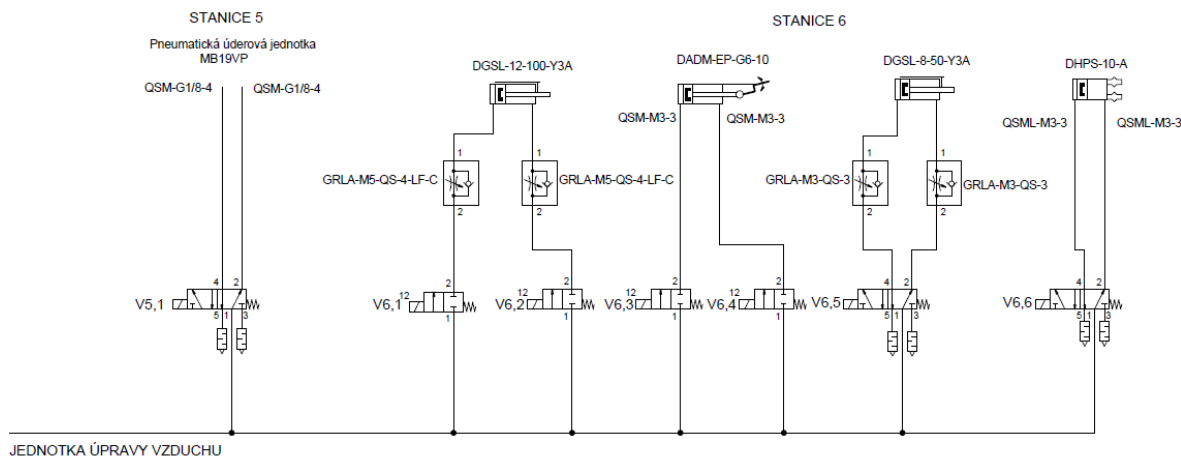
Úprava vzduchu sestává z několika prvků, které jsou popsány v kapitole (3.1.1). Vstupní blok tvoří stavebnicové komponenty, které se dají různě kombinovat.

Pracovní okruh se rozdělí do pěti skupin, ke každé náleží jedna stanice. Na stanici 2 se profukuje součástka tryskou. Zde se používá 3/2 monostabilní ventil, který je v klidové poloze uzavřen. Stanice 3 slouží k testování, zde se aplikuje 5/3 ventil, který se vrací do základní polohy díky pružině. Ventil plní bezpečnostní funkci, pokud by došlo k výpadku vzduchu, pneumatické válce zůstanou v aktuálně zaujímané poloze (gravitační síla nezpůsobí vysunutí válců do hnízda). Pro ovládání manipulátoru se používá monostabilní ventil 2/2 v klidové poloze uzavřený. Ventil 5/2 v kombinaci s ventilem 2/2 zajišťuje bezpečné chování manipulátoru v případě, že dojde k výpadku a opětovnému spuštění elektrické energie nebo přívodu vzduchu. První část pneumatického schématu znázorňuje (Obr. 45).



Obr. 45) Pneumatické schéma pracovního okruhu – část 1

Druhá část slouží pro ovládání stanice 5 s pneumatickou úderovou jednotkou. Na stanici 6 se nachází pneumatický manipulátor, který je z pohledu pneumatického ovládání totožný s manipulátorem na stanici 4 jen dovybavený o modul mezipolohy. Spotřeba testovacího stroje činí 2,7 l vzduchu na jeden takt. Hodnota se stanovila pomocí modulu „simulace pneumatiky“ na webových stránkách FESTA. Příloha diplomové práce obsahuje obě tato schémata.



Obr. 46) Pneumatické schéma pracovního okruhu – část 2

6 BEZPEČNOST TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

K provozování strojního zařízení ve výrobních podnicích v České republice je nutné zajistit prohlášení o shodě s legislativou v České republice a také legislativou Evropské unie.

Před uvedením strojního zařízení do provozu se musí splnit požadavky týkající se bezpečnosti a ochrany zdraví. K testovacímu zařízení musí být zpracována technická dokumentace, dále potom návod k obsluze, návod k údržbě, návod k výměně nebo seřízení určitých strojních celků.

Ke zpracování všech těchto dokumentů slouží příslušné normy, například:

- ČSN EN ISO 12100 – Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posuzování a snižování rizika
- ČSN EN ISO 13857 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horních a dolních končetin
- ČSN EN ISO 13849-1 – Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systému – Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci
- ČSN EN 60204-1 ed. 2 – Bezpečnost strojních zařízení – Elektrické zařízení strojů – Část 1: Všeobecné podmínky
- ČSN EN ISO 14119 – Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – Zásady pro konstrukci a volbu

Ochrana lidského zdraví a životů je v lidské společnosti tou nejvyšší hodnotou, proto se konstruktér při konstrukci strojních zařízení musí řídit právními a zákonnými předpisy, neboť zodpovídá za bezpečnost obsluhujícího pracovníka daného stroje při práci. S tím ovšem souvisejí povinnosti pro obsluhu, která je povinna řídit se předpisy a dbát na své zdraví a bezpečnost při práci.

6.1 Bezpečnost testovacího zařízení

Míru rizika lze snižovat pomocí vhodné konstrukce strojního zařízení. Krytování odděluje pracovní prostor stroje od prostoru, kde se pohybuje obsluha, tím se obsluha chrání od pohyblivých částí stroje. Kryt lze odstranit pouze za použití klíče nebo nástroje. Zábrana slouží k ochranně osob znalých nebo poučených. Toto řešení nelze použít ve všech případech, proto se nabízejí různé alternativy, např. kamerová detekce pohybu, optické závory, bezdotyková blokovací zařízení a v současné době známé kolaborativní roboty.

6.1.1 Tlačítko nouzového zastavení

Každé strojní zařízení musí být vybaveno tlačítkem Total Stop, které je dobře označené, viditelné a vhodně umístěné. Nouzové tlačítko od výrobce Scame zobrazuje (Obr. 47).



Obr. 47) Nouzové tlačítko [29]

6.1.2 Optická závora

Testovací zařízení je v místě ručního zakládání vybaveno optickou závorou. Toto řešení je vhodné pro oddělení pohybujících se mechanismů od okolního prostředí během pracovního cyklu. Zároveň v klidovém stavu stroje umožňuje zakládání součástí určených k testování. K optické závoře se musí instalovat bezpečnostní modul do rozvaděče. Jedna část bezpečnostního světelného závěsu miniTwin s označením C4MT-02434ABB03DE0 zobrazuje (Obr. 48).



Obr. 48) Optická závora [30]

6.1.3 Bezdotykové blokovací zařízení

Testovacího stroj obsahuje dveře s bezdotykovým blokovacím zařízením, jehož snímač chrání obsluhu při neoprávněném vniknutí do pracovního prostoru. Při takové události dojde k zastavení celého stroje. Bezdotykové blokovací zařízení RE1 neboli magnetické blokovací zařízení je použito od společnosti SICK s označením RE15-SA03 a znázorněno na (Obr. 49).



Obr. 49) Bezdotykové blokovací zařízení [31]

6.1.4 Signalizační věž

Testovací stroj má také signalizační věž, která slouží pro přehlednou informaci pracovního stavu. Provedení signalizačních věží je zobrazeno na (Obr. 50).

Signalizační majáky (signální věže, majáky stavu strojů, elektrických rozvaděčových skříní apod.) jsou světelné jednotky strojů určené pro zobrazení aktuálního stavu stroje nebo jeho řídicího členu. Standardně obsahují zelenou, žlutou a červenou světelnou část. Zelená signalizuje bezchybně fungující stroj (normální stav), žlutá upozorňuje například na chybějící materiál, otevřený kryt nebo dveře (nenormální stav) a červená se rozsvěcuje v případě poruchy zařízení (nebezpečný stav). Rozšířené však mohou být i o modré (příkaz) a bílé (neutrální) světlo. [32]



Obr. 50) Signalizační věže [33]

7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cenová kalkulace finálních nákladů na vývoj a výrobu strojních zařízení činí podstatné hledisko při realizovatelnosti. Mezi hlavní požadavky zákazníka patří výsledná funkčnost, spolehlivost a cena stroje. Ještě před samotnou realizací musí konstruktér vytvořit cenovou nabídku stroje. Při cenové nabídce konstruktér často čerpá ze zkušeností z předešlých projektů, kde se ekonomické zhodnocení podařilo vypracovat.

Ekonomické zhodnocení se dělí do několika základních oblastí a strojních celků, které jsou postupně rozebrány a vykalkulovány. Do první části spadá hlavní rám sestavený z hliníkových profilů, spojovacího materiálu a příslušenství (stavěcí patky, madla, panty, záslepky profilů, matice s pružinou). V další části jednotlivých stanic se uvádějí ceny hlavních komponentů a vyráběných dílců. Další podskupinou jsou bezpečnostní prvky, které slouží k ochranné obsluhy a musí splňovat předepsané normy. Na závěr jsou uvedeny náklady na elektroniku, důležitou pro automatický chod stroje.

Náklady související s nákupem dílců a výrobou jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení se uvádějí v (Tab. 12).

Tab 12) Seznam nakupovaných dílů

Popis položky	Výrobce/dodavatel	Počet kusů	Cena [Kč]
Hlavní rám			
Rámová konstrukce	Aluteckk	1	15 000
Plechové krytování	-	7	2 000
Polykarbonátové desky	Aluteckk	6	1 500
Úpravna vzduchu	FESTO	1	9 500
Otočný polohovací stůl	WEISS	1	150 000
Obráběné komponenty	-	-	15 000
Suma			193 000
Stanice 1			
2D Kamera	SICK	1	31 300
Obráběné komponenty	-	-	500
Stanice 2			
Obráběné komponenty	-	-	500
Stanice 3			
Pneumatický válec – ADN-12-30-A-P-A	FESTO	2	1 500
Šroubení, ventily, hadičky, čidla	FESTO	-	9 000
Indukční sensor	SICK	1	1 900
Obráběné komponenty	-	-	6 000

Stanice 4			
Pneumatický válec – DGSL-8-80-Y3A	FESTO	1	12 700
Pneumatický válec – DGSL-6-30-PA	FESTO	1	7 600
Chapadlo – DHPS-6-A	FESTO	1	6 000
Vibrační zásobník	Vondra a Vondra	1	60 000
Vibrační lineární podavač	Vondra a Vondra	1	20 000
Pneumatický válec SLS-6-30-P-A	FESTO	1	8 100
Vidlicový sensor	SICK	1	5 400
Šroubení, ventily, hadičky, čidla	FESTO	-	22 500
Obráběné komponenty	-	-	13 000
Stanice 5			
Miniaturní optoelektronický snímač	SICK	1	4 400
Pneumatická úderová jednotka	Automator	1	24 000
Šroubení, ventily, hadičky	FESTO	-	2 500
Obráběné komponenty	-	-	1 000
Stanice 6			
Pneumatický válec – DGSL-12-100-Y3A	FESTO	1	14 800
Pneumatický válec – DGSL-8-50-Y3A	FESTO	1	11 200
Chapadlo – DHPS-10-A	FESTO	1	7 200
Šroubení, ventily, hadičky, čidla	FESTO	-	23 000
Obráběné komponenty	-	-	2 000
Suma			296 100
Bezpečnostní prvky			
Nouzové tlačítko	Scame	1	600
Optická závora	SICK	2	17 100
Bezdotykové blokovací zařízení	SICK	2	2 200
Signalizační věž	Werma	1	3 000
Suma			22 900
Elektronika			
Rozvaděč a výbava	-	1	50 000
Hardware a software	-	-	50 000
Suma			100 000
Celková částka stroje			612 000

Závěrem ekonomického zhodnocení dostaneme náklady na nákup a výrobu testovacího zařízení, které činí 612 000 Kč.

Ekonomické zhodnocení nezahrnuje položky:

- mechanická konstrukce: cca 200 hod
- elektro konstrukce: cca 80 hod
- software: cca 100 hod
- mechanická montáž: cca 120 hod
- elektro montáž: cca 60 hod.

8 DOPORUČENÍ PRO PRAXI

Každé strojní zařízení prochází určitým cyklem (návrh, výroba, montáž, oživení, testování, používání, údržba a likvidace). V první (konstrukční) fázi lze snadno provádět změny a úpravy. V dalších fázích (výroba, montáž, oživení a testování) se stává jakákoliv úprava finančně nákladnější.

Při návrhu byl kladen důraz na snadné seřízení stanic (veškeré potřebné komponenty mají drážky pro seřízení stanice), vyšší univerzálnost stroje (možnost testovat různé velikosti pneumatického šroubení) a přívětivou manipulaci se součástkami a zakládání do stroje (obsluha u stroje sedí a stroj zahrnuje prostor pro dolní končetiny, aby obsluha neseděla daleko od stroje).

Při realizování stroje v praxi by bylo výhodné, avšak konstrukčně a cenově nákladnější, zakrytování zakládací stanice od ostatních stanic z důvodu bezpečnosti, což by umožnilo obsluze zakládat součástky při pracovním cyklu stroje. Výsledkem tohoto vylepšení by byla zvýšená produktivita stroje.

Další možnost pro vylepšení nabízí gravitační skluzu. Krabice na NOK součástky je sice zabezpečena zámkem proti vyjmutí, avšak účelně by mohlo dojít k odebrání NOK součástky ze skluzu. Tomuto lze snadno zabránit uzavřením gravitačního skluzu krytem.

9 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Výsledkem diplomové práce je konstrukční návrh jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení. Toto testovací zařízení umožňuje efektivněji testovat pneumatické šroubení používané v brzdových systémech, kde se požaduje 100% kontrola těsnosti vnitřního O-kroužku. V neposlední řadě testovací stroj eliminuje chyby způsobené lidským faktorem.

Vypracování diplomové práce mi přineslo mnoho cenných poznatků v oblasti mechanické konstrukce, vhodného výběru komponentů na základě určených kritérií, povědomí o cenách nakupovaných dílů, navrhování pneumatických schémat a průmyslové automatizace. Mnohdy se zjistí, že je výhodnější navrhnout sestavu z nakupovaných dílů, čímž lze docílit snížení nákladů, jenž se investovaly do konstrukce vlastního řešení.

Na práci konstruktéra se kladou vysoké technické požadavky, musí být schopen navrhovat komplexní strojní zařízení, očekává se jeho orientace v aktuální nabídce komponentů uvedených na trhu, základní znalost automatizace a elektrotechniky.

U hodnocení diplomové práce nesmíme opomenout to, že se primárně zabývá konstrukčním návrhem testovacího zařízení tak, aby splňovalo požadované funkce určené v zadání. Práci by bylo vhodné doplnit o kompletní výkresovou dokumentaci a kompletní elektrotechnickou dokumentaci. Elektrické zařízení nízkého napětí se může uvést na trh, pokud splňuje nařízení vlády č. 17/2003 Sb. Například se jedná o vydání ES prohlášení o shodě. Práce by také mohla obsahovat kompletní analýzy rizik. Při uvedení zařízení na trh musí jeho dokumentace obsahovat kompletní návod k obsluze a seřizovací návod. Tyto uvedené skutečnosti již přesahují rozsah zadání.

10 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vypracovat konstrukční návrh jednoúčelového stroje pro automatické testování pneumatického šroubení. V první části práce se provedlo shrnutí současného stavu poznání v oblasti pneumatiky v moderní automatizaci, pneumatického šroubení, způsobů testování těsnosti a rozdělení sensorů podle použití.

Informace získané z teoretické části práce byly využity při konstrukčním návrhu testovacího zařízení. Ještě před samotným návrhem se vypracoval systémový rozbor řešené problematiky, do kterého se promítly dva základní koncepty stroje a následně se vyhodnotily pomocí metody vážených hodnot.

V konstrukční části se pomocí výpočtu stanovila velikost rotačního polohovacího stolu. Dále se navrhly a detailně rozpracovaly jednotlivé stanice. Celý testovací proces se zakomponoval do hlavního rámu z hliníkových profilů.

V práci musí být také kladen důraz na bezpečnost testovacího zařízení, jehož hlavní rám obsahuje prvky pro zajištění bezpečnosti obsluhy a celého procesu. Další část práce znázorňuje pneumatický obvod s vybranými pneumatickými prvky.

Závěr práce obsahuje ekonomické zhodnocení navrženého testovacího stroje, ve kterém jsou zahrnuty ceny materiálů, jednotlivých komponentů a obráběných dílců. Součástí práce je 3D model a výkresová dokumentace.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BORSKÝ, Václav. *Jednoučelové obráběcí stroje: Určeno pro posl. fak. strojní, Díl 1.* Brno: VUT, 1989. s. [1a]. ISBN 80-214-0031-5. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:83171100-77c0-11e3-a80c-005056825209>
- [2] *AUTOMA: Jaké místo má hydraulika a pneumatika v moderní automatizaci?* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/jake-misto-ma-hydraulika-a-pneumatika-v-moderni-automatizaci-2008_10_37949_4912/
- [3] *AUTOMA: Vývoj pneumatických prvků a mechanismů* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/vyvoj-pneumatickych-prvku-a-mechanismu-2000_10_27904_271/
- [4] *SEALL s.r.o.: Hydraulické, pneumatické a těsnící prvky* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <http://www.seall.cz/cz/produkt/74/pneumaticke-sroubeni/>
- [5] *AERA: pneumatic* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.aera-pneumatic.com/en/shop-en/brass-and-other-alloys/rt-brass-push-in-fittings/rt51-male-straight-parallel-bspp-metric.html>
- [6] *AIGNEP: Serie INOX* [online]. In: . [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://www.aignep.com/eng/Push-in-fittings/60000-Series-Stainless-Steel/STRAIGHT-MALE-ADAPTOR-PARALLEL>
- [7] *Aero Pneumatic* [online]. In: . [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: https://www.aera-pneumatic.com/k-content/aera/themes/aera/html/mediabank/RT_AERA_5d3ffd5b15ef9.pdf
- [8] *Parker* [online]. [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <https://ph.parker.com/us/en/prestomatic-2-push-in-fittings>
- [9] *Prestomatic Push-In Fittings* [online]. In: . [cit. 2021-03-07]. Dostupné z: <http://www.seall.cz/uploads/files/nastrcne-sroubeni-prestomatic/nastrcne-sroubeni-prestomatic-pdf.pdf>
- [10] *LABTECH: Metody lokalizace netěsností používané v praxi* [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.detekce-netesnosti.cz/lokalizace-netesnosti-zkousky-netesnosti/>
- [11] *Měřicí přístroje pro zkoušky těsnosti* [online]. In: . [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <http://ateq.cz/wp-content/uploads/2014/05/F620-cz.pdf>
- [12] *KOMPRESORY VZDUCHOTECHNIKA: Měření průtoku stlačeného vzduchu* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/poradna/mereni-prutoku-stlaceneho-vzduchu/>

- [13] *ATEQ: ATEQ - NOVINKY V MĚŘENÍ TĚSNOSTI* [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://ateq.cz/clanky/ateq-novinky-v-mereni-tesnosti/>
- [14] *Automatizace.hw.cz: Volba vhodného snímače / detektoru přítomnosti objektů* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/volba-vhodneho-snimace-detektoru-pritomnosti-objektu.html>
- [15] *SICK: Malé optoelektrické snímače W12-2 Laser* [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/w12-2-laser/wt12l-2b551/p/p241341?ff_data=JmZmX2lkPXAyNDEzNDEmZmZfbWFzdGVySWQ9cDI0MTM0MSZmZl90aXRsZT1XVDEyTC0yQjU1MSZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTEmZmZfb3JpZ1Bvcz01JmZmX3BhZ2U9MSZmZl9wYWdlU2l6ZT04JmZmX29yaWdQYWdlU2l6ZT04JmZmX3NpbWk9MTAwLjA=
- [16] *SICK: 2D Machine Vision picoCam2* [online]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/prumyslove-zpracovani-obrazu/2d-machine-vision/picocam2/i2d305c-2rca11/p/p654337?ff_data=JmZmX2lkPXA2NTQzMzcmZmZfbWFzdGVySWQ9cDY1NDMzNyZmZl90aXRsZT1JMkQzMdVdLTJSQ0ExMSZmZl9xdWVyeT0mZmZfcG9zPTEmZmZfb3JpZ1Bvcz0xJmZmX3BhZ2U9MSZmZl9wYWdlU2l6ZT0yNCZmZl9vcmlnUGFnZVNpemU9MjMmZmZfc2ltaT05Ny4w
- [17] *Automatizace.hw.cz: Bezkontaktní indukční snímače přiblížení - obecný popis* [online]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/komponenty-mereni-a-regulace/indukcni-snimace-priblizeni-obecny-popis.html>
- [18] *IFM: Induktivní senzor IFS713* [online]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.ifm.com/cz/cs/product/IFS713?tab=details>
- [19] *WEISS* [online]. [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.weiss-world.com/en/products/rotary-indexing-tables-44/rotary-indexing-table-45>
- [20] *DHTG: FESTO* [online]. In: . [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://i.ytimg.com/vi/ooN2__pggDU/maxresdefault.jpg
- [21] *DHTG: Resetting the rotary indexing table* [online]. In: . [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=ooN2__pggDU
- [22] *Rotary indexing tables DHTG* [online]. In: . [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.festo.com/net/supportportal/files/10453/dhtg>
- [23] *Oil Control Valve Full-Auto Production Line* [online]. In: . [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=o5LcnERibTA&ab_channel=%E6%B7%B1%E7%AB%8B%E5%BE%97%E8%87%AA%E5%8A%A8%E5%8C%96%E8%AE%BE%E5%A4%87
- [24] *Ganttův diagram* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Gantt%C5%AFv_diagram
- [25] *ROTARY INDEXING TABLE TC* [online]. In: . [cit. 2021-04-11]. Dostupné z: <https://www.weiss-world.com/PDFs/en/brochures/TC%20%20product%20catalog>

- [26] *Vondra a Vondra* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.vondra-vondra.cz/cz/katalog/28-vibracni-pohony/228-kruhove-typ-c/>
- [27] *SICK: Miniaturní optoelektronické snímače W2 Flat* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/optoelektronicke-snimace/w2-flat/wt2f-p480/p/p207194?ff_data=JmZmX2lkPXAyMDcxOTQmZmZfbWFzdGVySWQ9cDIwNzE5NCZmZlI90aXR5ZT1XVDJGLVA0ODAmZmZfcXVIcnk9dzImZmZfcG9zPTE3JmZmX29yaWdQb3M9MTcmZmZfcGFnZT0xJmZmX3BhZ2VTaXplPTI0JmZmX29yaWdQYWdlU2l6ZT0yNCZmZlI9zaW1pPTk2Ljc4
- [28] *MECALUX: Pneumatická úderová jednotka pro značení* [online]. [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: <https://www.logismarket.cz/automator/pneumaticka-uderova-jednotka-pro-znaceni/2294430117-p.html#supplier-info>
- [29] *Shopelektro.cz: Total stop tlačítko* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.shopelektro.cz/detekce-ovladani-a-signalizace/scame/tlacitkove-ovladace/scame-590pr01r4n-total-stop-tlacitko-590pr01r4n>
- [30] *SICK* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/bezpecnostni-svetelne-zavesy/minitwin/c4mt-02434abb03de0/p/p123701>
- [31] *SICK* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/c/g191551?q=:Def_Type:ProductFamily
- [32] *Thermotech GROUPE: Signalizační věže* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.thermotech-groupe.com/signaliazcni-veze>
- [33] *Thermotech GROUPE: Signalizační věž - TM4* [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné z: <https://www.thermotech-groupe.com/tm4>

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

D	[m]	Těžiště hnízda na průměru
I_{deska}	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	Moment setrvačnosti kruhové desky
$I_{\text{hnízda}}$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	Moment setrvačnosti hnízda
$I_{\text{výsledný}}$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	Výsledný moment setrvačnosti soustavy
$m_{\text{hnízda}}$	[kg]	Hmotnost hnízda

12.1 Seznam tabulek

Tab 1)	Technické údaje – Prestomatic 2 [9]	21
Tab 2)	Technické údaje – optoelektronický snímač WT12L-2B551 [15]	25
Tab 3)	Technické údaje – průmyslová 2D kamera picoCam2 [16]	25
Tab 4)	Technické údaje – indukční sensor IFS713 [18]	26
Tab 5)	Technické údaje – pneumatický rotační polohovací stůl [22]	28
Tab 6)	Tabulka s bodovým hodnocením	31
Tab 7)	Tabulka hodnotících kritérií	31
Tab 8)	Tabulka hodnotících variant	32
Tab 9)	Flow Shop – časové údaje jednotlivých operací	37
Tab 10)	Ganttův diagram pro JÚS	37
Tab 11)	Technické údaje – snímač WT2F-P480 [27]	50
Tab 12)	Seznam nakupovaných dílů	63

12.2 Seznam obrázků

Obr. 1)	Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu	19
Obr. 2)	Pneumatické nástrčné šroubení [5]	20
Obr. 3)	Řez pneumatickým nástrčným šroubením [7]	20
Obr. 4)	Šroubení používané v brzdových systémech [8]	21
Obr. 5)	Měřicí přístroj pro zkoušky těsnosti F620 [11]	22
Obr. 6)	Inovativní přístroj ATEQ H520 [13]	23
Obr. 7)	Jednotlivé fáze měřicího cyklu [13]	23
Obr. 8)	Optoelektronický snímač WT12L-2B551 [15]	24
Obr. 9)	Průmyslová 2D kamera picoCam2 [16]	25
Obr. 10)	Indukční snímač válcový [18]	26
Obr. 11)	Kompletní rotační polohovací stůl [19]	27
Obr. 12)	Pneumatický rotační polohovací stůl FESTO [20]	27
Obr. 13)	Princip polohovacího stolu FESTO [21]	28
Obr. 14)	Koncept JÚS s karuselem	30
Obr. 15)	Koncept JÚS s lineárním dopravníkem	31

Obr. 16)	Pohled na karuselový jednoúčelový stroj [23]	33
Obr. 17)	Testované pneumatické šroubení	35
Obr. 18)	Koncept jednoúčelového stroje	36
Obr. 19)	Konstrukční návrh hnízda	38
Obr. 20)	Založení testované součástky do hnízda	39
Obr. 21)	WEISS polohovací stůl TC 150 T – doba cyklu [25]	40
Obr. 22)	Technické údaje – WEISS polohovací stůl TC 150 T [25]	40
Obr. 23)	Kontrola správného založení součástky	41
Obr. 24)	Profouknutí součástky kvůli vyčištění sítka	42
Obr. 25)	Testovací stanice	42
Obr. 26)	Řez testovacím mechanismem v klidové poloze	43
Obr. 27)	Řez testovacím mechanismem v pracovní pozici	44
Obr. 28)	Manipulátor určený k nasazování čepičky	46
Obr. 29)	Vibrační zásobník s vibračním lineárním pohonem	47
Obr. 30)	Ukázka orientace čepiček	48
Obr. 31)	Oddělovač čepiček	48
Obr. 32)	Sensor W2 Flat [27]	50
Obr. 33)	Uchycení sensoru určeného pro detekci sítka	51
Obr. 34)	Pneumatická úderová jednotka [28]	52
Obr. 35)	Technické údaje – pneumatický úderník [28]	52
Obr. 36)	Montáž pneumatické úderové jednotky	52
Obr. 37)	Montáž modulu mezipolohy	53
Obr. 38)	Manipulátor s mezipolohou	54
Obr. 39)	Konstrukce gravitačního skluzu	54
Obr. 40)	Hlavní rám stroje	55
Obr. 41)	Upevnění rotačního polohovací stolu	56
Obr. 42)	Vizualizace JÚS	56
Obr. 43)	Detailní pohled na přední část stroje	57
Obr. 44)	Detailní pohled na zadní část stroje	57
Obr. 45)	Pneumatické schéma pracovního okruhu – část 1	58
Obr. 46)	Pneumatické schéma pracovního okruhu – část 2	58
Obr. 47)	Nouzové tlačítko [29]	60
Obr. 48)	Optická závora [30]	60
Obr. 49)	Bezdotykové blokovací zařízení [31]	60
Obr. 50)	Signalizační věže [33]	61

13 SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy v elektronické podobě:

3D model testovacího zařízení (formát .STEP)

JÚS

Pneumatické schéma (formát .pdf):

PNEUSCHÉMA_1

PNEUSCHÉMA_2

Výkresová dokumentace (formát .pdf):

TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	VÝKRES SESTAVENÍ	DP – 00 List 1
TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	VÝKRES SESTAVENÍ	DP – 00 List 2
TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	SEZNAM POLOŽEK	DP – 00 List 1
TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	SEZNAM POLOŽEK	DP – 00 List 2
TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ	SEZNAM POLOŽEK	DP – 00 List 3
TESTOVACÍ TRUBIČKA	VÝKRES SOUČÁSTI	DP – 00 – 03 – 01
PODAVAČ	VÝKRES SOUČÁSTI	DP – 00 – 06 – 01
STATICKÁ DESKA	VÝKRES SOUČÁSTI	DP – 00 – 14
KRYCÍ PLECH 1	VÝKRES SOUČÁSTI	DP – 00 – 17
HNÍZDO	VÝKRES SOUČÁSTI	DP – 00 – 19